2030

TECHNOLOGY THAT WILL CHANGE THE WORLD

RUTGER VAN SANTEN,
DJAN KHOE, BRAM VERMEER



ح المجلة العربية، 1433هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

سانتن ، روتغر فان

2030 تكنولوجيا تغير وجه العالم. / روتغر فان سانتن ؛ دجان كوهي ؛ برام فرمير ؛ الحسن جنى .- الرياض ، 1433هـ

404 ص ؛ 21x14 سم (إصدارات المجلة العربية ؛ 53)

ردمك: 8-43-8086-603-978

1 - العالم - الأحوال الاقتصادية 2 - التقنية 3 - العلاقات الدولية أ. كوهي ، دجان (مؤلف مشارك) ب. فرمير ، برام (مؤلف مشارك) ج. الحسن جنى (مترجم) د.العنوان هـ.السلسلة

ديوي 301.243 1433/2917

رقم الإيداع: 1433/2917

ردمك: 8-43-8086-603-978

ضمن التعاون المشترك بين المجلة العربية ومدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
«الثقافة العلمية للجميع»

تكنولوجيا 2030

تغير وجه العالم

تأليف

روتغر فان سانتن، دجان كوهي، برام فرمير

ترجمة

جنى الحسن

الطبعة الأولى

1433هـ - 2012 م



53

المحتويات

مقدمة الطبعة العربية

التحديـات التي تواجه عصرنا كثيرة، ففـي العقود القادمة سوف يكون العالم العربـي في بؤرة الاهتمام كمزود عالمي للطاقـة، وتظل مشكلة مياه الشـرب مصدر اهتمام أيضاً. كمـا أن تقنيات الاتصال توفر روابط حديثة للتفكير الكوني. هذا الكتاب هو عن التقنيات الحديثة التي سوف نحتاجها لمواجهة المستقبل القريب.

ومنذ ظهـور الطبعة الأولى من هذا الكتاب، برزت العديد من القضايا، فقـد تعمقت أزمة الاقتصـاد العالمي، وتزايدت المخـاوف الناتجة عن تغير الطقس، وأدت كارثة اليابان النووية (مفاعل يوكوشيما) إلى إعادة التفكير في إمدادات الطاقة، وتسارعت الزيادة في أسعار الغذاء. وبالرغم من ذلك فقـد ظلت طرق المعالجـة والتطوير كما هي. ويكمـن التحدي في أغلب الأحيان في إدخـال تقنيات حديثة بسرعة طافيـة لتحمل بعض العبء في حل مشكلات عصرنا.

فمثلاً: تناقص احتياطات البترول قد يعني نضوبه غير أن التقنية التحويلية الواسعـة النطاق، اللازمة لإدخال تقنيات طاقة جديدة، قد تحتاج إلى زمن طويـل. فقد طورت القطاعـات الصناعية شبكة من العلاقـات التكاملية والتـي يبدو أن من الصعب تغييرها. فإدخال تقنيات جديدة تتطلب الكثير مـن الاختبـارات وصناعة أجيال متعـددة من الموديـلات التجريبية. وقد تحتـاج تقنية الطاقة التحويلية إلى 30 سنـة لتصل إلى إنتاج 10 % من إنتاج الطاقـة العالمي. وهذا يعنـي أن الطاقة الجديدة قد تحتـاج إلى 30 سنة لكي

تصل إلى 10 % من العالم. ونحن لا نستطيع أن ننتظر كل هذه المدة. فإذا كان باستطاعة التقنية الجديدة المساعدة وتقديم الحلول لعصرنا، فعليها أن تكون قابلة للتطبيق في زمن أقل، لذلك علينا أن نطور تقنيات قابلة للتطبيق بسرعة ويقدم هذا الكتاب عدة طرق واعدة لذلك.

أما بالنسبة للعالم العربي، فهناك الكثير من الفرص والإمكانيات الجديدة. فهي واحدة من أفضل المناطق في العالم بالنسبة لاستغلال الطاقة الشمسية، كما أن المعلومات المتوفرة عن قطاع النفط قد تستخدم في حفر طبقات أعمق، موفرة طرقاً جيدة في تقنيات الحفر. وكلا التقنيتين مذكورتان في هذا الكتاب، إضافة إلى أن العالم العربي في وضع جيد ليصبح رائداً في تقنيات المياه. فإذا استطاع العالم العربي أن يتعامل بكفاءة مع مشكلة المياه، فإنه سوف يصبح محط انتباه العالم. وهذا لا يعني فقط تحلية مياه البحر، فالعديد من التطورات السريعة قد تم تطبيقها في مجال الاستخدام الفعال للمياه. فنحن لا نحتاج إلى ري المزروعات 100 % من الوقت، بل نحتاج على أن نكون أكثر ذكاء، كما نحتاج إلى تنبوءات أكثر دقة للطقس، وإلى العديد من المجسات التي تحدد وتتحسس ما يحتاجه النبات فعلاً. وهذه ما هي إلا مقدمة لمعرفة كيف بإمكان تقنية المعلومات أن تغير تغييراً شاملاً في إمدادات المياه والزراعة.

هناك علاقة حميمة بين احتياجات المجتمع وتطور التقنية، فالحاجة أم الاختراع، وقد أثبت التاريخ ذلك مراراً. فما يهدد المجتمع بشكل مباشر يحرك العلماء ويقود إلى الاختراع.

وقد بدأت بالفعل تقنيات الاتصالات الجديدة في بلورة طرق واضحة،

فالشبكة الكونية منسوجة بدقة وإحكام بحيث أن الشعور بالمصير المشترك يشعر به كل شخص على هذا الكوكب. فحياتنا تتشكل بشكل متزايد على حوادث وقعت في أماكن بعيدة جداً عنا. فأسعار المواد الغذائية في المملكة العربية السعودية تتأثر بحرائق حدثت في أوكرانيا، وانقطاع التيار الكهربائي قد يكون سببه على بعد 5000 ميل من ذلك، وقد ينتقل فيروس مميت من الصين إلى القرب منك خلال ساعات.

ونحن نحاول في هذا الكتاب أن نثبت أن باستطاعتنا السيطرة على مثل هذه المخاطر. فالتلاحم والاتصال موضوع التساؤل صنعه الإنسان، وباستطاعتنا تغييره بشكل يجعل الوقائع التي تحصل محصورة في مكانها عوضاً عن تأثيرها على الآخرين وتحولها إلى كارثة واسعة النطاق. ومن أجل محاولة تغيير المستقبل نحتاج إلى التخلي عن الحلول المطروحة، فالنظرية الاقتصادية المعيارية مثلاً نوقشت وتم تحديها في هذا الكتاب، فقد أثبتنا بأن هناك سلوكيات غير معقولة وغير منطقية ناشئة عن بعض الظواهر الاقتصادية غير المفهومة ظهرت سابقاً. وقد اقترحنا طرقاً جديدة وواقعية جداً، وإذا بدأنا باستكشافها منذ الآن فإننا قد نتجنب حدوث بعض الكوارث العالمية في العقود القادمة.

نرجو أن يشاركنا قراؤنا بشعورنا بالحاجة الملحة لذلك. فقد كتب أحد ناقدي هذا الكتاب قائلاً: «إن في هذا الكتاب تنبوءاً مثيراً للإعجاب وصرخات رعب محذرة في آن واحد». وهو استنتاج يجب أن يؤخذ كسبب للتفاؤل، إذا أردنا أن نؤثر في مجرى التاريخ. وقد تكون المشاكل التي تواجه كوكبنا ضخمة، ولكن باستطاعتنا أن نحدث تغييراً حقيقياً.

فقد أوضحنا بأن القضية ليست مجرد تساؤل عن تطور التقنية الجديدة. بل أن الطريقة التي تأسست وتجذرت فيها التقنية وطريقة انتقالها وتغلغلها في المجتمع يحمل نفس الأهمية.

فنحـن نؤمن بأنها (التقنية) سوف تمكن الناس من التحكم بمصائرهم. فليس من الضروري أن تكون باحثاً علمياً أو أن تعمل في مختبر صناعي لكي تكون قادراً على تشكيل مصيرنا المشترك. إننا نتكلم عن أشياء بسيطة مثل التوقف عن رمي المواد الغذائية، أو عن الاختيارات المهنية للفرد وطريقة عيشه، كما أننا نتمنى أيضاً أن نلهم زملاءنا المهندسين والعلماء في تغيير اهتماماتهم البحثية بطريقة من شأنها المساعدة في حماية وتحسين الحياة على كوكبنا.

برلين – ديسمبر 2011

تقديم

تخيل أنك تعيش في عام 1958، وأن الدوائر المتكاملة على وشك أن يتم اختراعها والتي ستحدث ثورة عالمية.

أو تخيـل أنك في العـام 1992، حينما انطلقت شبكة المعلومات الدولية (الإنترنـت) لكـي تحول عمليـاً كل مظاهـر حياتنا وكذلـك كل مظاهر المنتجات.

هذا الكتاب، وبطريقة لا تصـدق، يدعم المقولة الرامية، إلى اعتبار، أننا نتواجـد ليس في لحظة راهنة، ولا حتى في حقل واحـد، وإنما في حقول عديدة.

ولنتصـور أيضا أننا قـد طلبنا من المؤلفين (روتغر فـان سانتن)، (دجان كوهي) و(برام فرمـير)، الذين أجروا مقابلات، مع علماء وخبراء تقنيين، حول مواضيع: الصحـة والتنمية المستدامة والاتصـالات، النظر معنا إلى الأمـام، وذلك حتى بلوغ العام 2030، لاسيمـا تعليقاتهم المنتظرة، حول أي نموذج يمكن اعتماده؟ ليلعب الدور الضروري المطلوب، خصوصاً إذا علمنا أن التكنولوجيا ستكون لازمة في العام 2030، وربما هذا هو السبب الـذي دفع بالمؤلفـين، إلى التحري عن ما يمكننا القيام بـه لتفادي الفجوة مستقبلاً؟

وعلى الرغم من عملهم في مجالات متباينة، ومن بينهم، الذين ندعوهم خبراء في هذا الكتاب، أمثال (هانـز بليكس) رئيس لجنة التحقيق الدولية في العراق، و(كريـغ فينتر) المستكشف من الحمض النووي البشـري، و(سوزان غرينفيلد)

سلطة رائدة عالمياً في السيطرة على الدماغ البشري، يتأكد لنا من خلالهم الرابط بين جميع شبكاتنا العالمية، في مجال التكنولوجيا والاتصالات، وبين الصراعات الكبرى في العالم التي تنطوي على أحداث، لا يمكن أن تكون معزولة في مجرياتها، وأن الفهم الجديد للضوابط الكامنة وراء هذه النظم المعقدة، هو أكثر أهميةً من أي وقت مضى.

أما الاستخدام المضيء للغة، التي صيغ بها هذا الكتاب، فيساعدنا على الوصول إلى مناقشة المسائل ذات الاهتمام العالمي، وبالتالي الكشف عن أهميتها.

إن العام 2030 سيتخذ الموقف الذي يمليه، علينا تجاه مسيرة التاريخ، ويمنحنا طريقة جديدة في التطلع إلى الأمام، من منظور يتناول الاستدامة والاستقرار ومواجهة الأزمات بتدابير احترازية.

وخلاصة القول إن هذا الكتاب، يتوجه إلى كل الذين يهتمون بالعلم الحديث، ليطرح أمامهم التقنيات المتطورة التي من شأنها أن تحدث تغييراً في العالم.

مهمتنا

لم يخلُ العالم من الأحداث غير المسبوقة، فأثناء تأليفنا لهذا الكتاب. سجلت أسعار المحروقات والمواد الغذائية ارتفاعاً كبيراً ثم هبطت أرضاً. حصلت هزة أرضية مدمّرة في هاييتي. فشلت المصارف وظهر فيروس إنفلونزا جديد، ما لبث أن تفشى وباء عالمي سبب الذعر وأعلن حالة طوارئ. لم تكن أي من هذه الأحداث متوقعة قبل سنة، أو على الأقل، لم يكن مسموعاً بها. ولم نتمكن من خلال مهاراتنا التكنولوجية أن نأخذ

الاحتياطات اللازمة لمواجهتها مسبقاً.

لقد ساهمت التكنولوجيا في تأمين احتياجاتنا المادية منذ زمن بعيد. لقد تعلمنا كيف نحرث الأرض، وكيف يخاطب أحدنا الآخر، وكيف نبقى بصحة جيدة. ويملك معظم سكان بلاد الغرب ما يكفيهم من طعام، أسقفاً فوق رؤوسهم، وماءً نظيفاً. تأمنت جميع ضروريات الحياة إلى حد دفع بعض المراقبين للقول إن الحاجة إلى المزيد من التقدم التكنولوجي أخذت تتقلص. ولكننا نواجه، للمرة الأولى في التاريخ، أزمات عالمية الشكل.

لوحظ تباعاً النقص في المواد الغذائية في كل من آسيا، وإفريقيا، وجنوب أميركا منذ عام 2007، وانتشر النقص عالمياً عام 2008. وإثر انتشار الإنفلونزا الوبائية، انتقلت الجراثيم عبر القارات في غضون أيام. كما تعدّ التغيرات المناخية وأزمة المحروقات من التحديات العالمية التي سنواجهها في العقود المقبلة. عولمة الكارثة بحد ذاتها متجذرة في التكنولوجيا. أقدمت أجيال من المهندسين على إحداث شبكة عالمية من الصناعات والاتصالات والأسواق التي أثبتت ترابط الكواكب. وقد باتت هذه الشبكات على درجة وثيقة من التقارب مشيرة إلى أننا سنواجه مصيراً مشتركاً. فإما نحيا أو نهلك معاً.

ويبدي مؤلفو هذا الكتاب قلقهم من النطاق الجديد الذي تتجلى خلاله هذه المشاكل الضاغطة. وبما أن التكنولوجيا كانت من المسببات الأساسية لهذه التعقيدات في الدرجة الأولى، فنحن نؤمن أنها يجب أن تكون بالتالي جزءاً من الحلول المناسب لها، وكذلك منع مشاكل مشابهة من الظهور في المستقبل. وتختلف درجة التحدي عن كل ما اختبرناه نحن

البشـر حتى الآن. لذلك، يجـب أن تكون الحلول مختلفـة أيضاً، حتى في حال المشاكل التي حسبنا أننا تخطيناها مسبقاً.

قـد نعـرف كيفية معالجة عـدوى الفيروس، على سبيل المثـال، ولكن معالجة ملايـين الأشخاص تباعاً تعتبر تحدياً مختلفـاً كلياً، قد يتطلب إيجاد تكنولوجيـا جديدة. ومن الواضح أنه لم يكـن بإمكاننا تغطية كافة ميادين التكنولوجيـا بأنفسنا، فتحدثنا مع عدد من الخـبراء وأصحاب الرؤية عن تصورهم الخاص للعالم بعد عشرين عاماً.

طلبنـا منهـم استكشـاف أي نوع مـن الأبحاث سيكـون ضرورياً في الأعـوام المقبلـة ووضعه في نطاق أوسـع. فهل لدينا الوسيلـة للتأثير على مجـرى تاريخنـا؟ وإلى أي تقدمـات مفاجئـة في المعرفـة سنكون بحاجة لتحويل العـالم إلى مكان أفضل للعيش؟ لقد تقدم الخـبراء بأفكار أظهرت ميادين متوازية. حيث أظهروا لنا أن معظـم العمليات باتت مترابطة وأن الشبكات العالمية بأنواعها المختلفـة أصبحت متشابكة. الأمر الذي يشير أن خللاً ما، لنقل في الإنترنت، يمكن أن يعطل النظام المالي العالمي.

العلم والتكنولوجيـا متورطان عن كثب في التعقيـدات المتفاقمة للقضايا الأساسية، الأمر الذي يعقد رؤيتنا للحلول والمشاكل معاً. وفي سياق مناقشاتنا مـع الخبراء، أدركنـا تدريجيـاً أن وثاقة الصلـة بين الشبـكات والتعقيدات أوسـع مما حسبنا، الأمر الذي زودنـا بمقاربة جديدة للمشاكل والحلول معاً. وبالرغم من عدم تقدير هذا الأمر تماماً في العديد من الفروع العلمية، إلا أن الاهتمـام يتزايد بالشـكل الموصوف هنا. كما يزودنـا بالعديد من الأدوات الضروريـة لمواجهة المستقبل. ومع ذلك، يمكن لعلـم التعقد أن يعلمنا الكثير

عـن الاختراقات، والتغييرات وأنماط التأثير. فتقدمت الأبحاث عن الأنظمة الديناميكيـة المعقدة إلى علم جديـد وكان ذلك منذ أواخر العام 1980. وقد أصبـح هذا العلم شائعاً على نطاق الفيزيـاء والكيمياء والرياضيات، وأوجد مؤخـراً طريقه في حقول أخـرى كذلك. والفهم الجديـد للأنظمة المعقدة، يزودنـا بمنظور جديـد عن الاستدامـة، الاستقرار، ووسائـل منع الأزمات، الطريقة الجديدة التي تساعدنا على الترقب كما تساعدنا على تعريف القضايا الأساسية للعام 2030. لقد تم اختيار آفاق الأعوام المقبلة بعناية فائقة.

وبحسـب عـدد من العلمـاء، لا يبـدو العـام 2030 بالمستقبـل البعيد. ليس علينـا تخيل حلول قد تبـدو متاحة، حيـث إن التكنولوجيات التي سنستعملهـا حينها تعـدّ امتـداداً منطقياً لمـا تشهده مختبراتنـا في المرحلة الراهنة. والعقدان المقبلان يبدوان مـدة قابلة ليكوّن العلماء تصوراً عنها. فالتطـورات التكنولوجيـة تستغرق وقتـاً لتفعيلها، والعديـد من الأفكار المطورة حالياً تحتاج لهذه المدة كي تصير واقعاً. لذلك، لن يجد القارئ في هذا الكتـاب قصصاً خيالية عن (روبوتات) ستحتل العالم. قد تحدث هذه الأمور يوماً، ولكن ليس في الأعوام العشرين القادمة.

من جهة أخرى، تبدو مدة عقدين كافية لتأخذنا أبعد من حاجاتنا الحالية. هذا الكتاب ليس عن التعديلات الإضافية للتكنولوجيات المتوافرة، أو عن الجيـل المقبـل من الرقائق. فهـو لا يسلط الضوء لا علـى الكثافة السكانية خلال عشرين عاماً، ولا على عـدد السيارات التي سنملكها، أو حاجاتنا لعدد مـن الأسرّة الصالحـة للمستشفيات. لسنا مهتمـين بالإحصاءات أو بتطوير سيناريوهات حول المـآزق التي سيواجهها مجتمعنا، ولسنا بحاجة

إلى الأرقام لنثبت ما هي.

لــكل هذه الأسباب، طلبنا من الخبراء في هــذا الكتاب التركيز على القضايا الرئيسيــة لعام 2030. على اعتبــار أننا تكنولوجيون، نشعــر بمسؤولية خاصة للعمل علــى إيجاد الحلول. إذ كانت التكنولوجيا مــن أبرز مسببات المشاكل التــي نواجههــا. لذلك، من واجبنــا أيضاً أن نوجد لها الحلــول. كالعديد من زملائنــا، وظفنا جهدنا وإبداعنا في خدمــة هذه الصناعة. وعلى أهمية الأمر، قــد لا يبدو كافياً لحل المشــاكل التي تواجهها البشرية حاليــاً. هناك أمور عدة تستوجب مواجهة طارئة لمــن يرغب في تحويل العالم إلى مكان أفضل للعيش، وهذا بالضبط يشمل تكنولوجيين مثلنا. في هذا الكتاب، نظهر أن للتكنولوجيا قوة تمكنها من إحداث فرق حقيقي. نحتاج إلى اختراقات تكنولوجية متنوعة لحمايــة مستقبلنــا. في الوقت نفسه، يجب أن نرصــد بدقة العلاقة بين مختلف الأنظمــة. بطريقة مثاليــة. سيساهم هذا الكتاب في تعزيــز أجندة البحث عبر إلهام المهندسين وغيرهم في جهودهم لحماية وتحسين كوكبنا.

هذا المنشــور الدولي هو نتــاج دراسة عن التطــورات المستقبلية بمناسبة الذكــرى السنوية الخمســون لإنشاء جامعة (إيندهوفــن) للتكنولوجيا في هولندا[1]. وقد شجعتنا ردود فعل أصدقائنا المهندسين في هولندا والخارج، وكذلــك طبيعة القضايا التي تواجه كوكبنا في المرحلة الحاضرة بغية توسيع دراستنا على نطاق عالمي.

(1) Santen، R. A. van، Khoe، G. D.، and Vermeer، B. (2006). Zelfdenkende pillen، en andere technologie die ons leven zal veranderen. Amsterdam: Nieuw Amsterdam.

مدخل

عندمـا طلبنا من زملائنا أن يدونـوا لائحة بما يعتبرونها من أكثر المشاكل الضاغطة التي تواجه كوكبنا حالياً، أعدّوا مجموعة من الاهتمامات أبرزها التلوث البيئي، التغيير المناخي، التهديدات الأمنية المتزايدة، وتوفير الحاجة الغذائية الملائمـة لسكان الأرض. ولأننا نركز في هـذا الكتاب على أكثر المسائـل خطـورة في المرحلة الراهنة، من المثبط لنا أننـا لا نزال نحتاج إلى علاج للضـرورات الإنسانيـة الأساسية. وما زال أيضاً ومنـذ بداية القرن العشريـن، نقص في الغذاء والماء والمسكن مما يـودي بحياة الملايين سنوياً. ويعد سوء الغذاء السبب الأساسي لأكثر من نصف حالات الوفاة في العالم. ويفـوق عدد الذين يموتون جراء سوء التغذيـة[1] عدد الذين تلاشوا خلال الحرب العالمية الثانية. ومما يزيد هذه المشكلة أرقاً هي معرفتنا المسبقة بأنها غير ضرورية. لهذا، نعطي أهمية كبرى لهذه المسألة ولكيفية علاجها.

ومـن ثم يأتي دور مرض السرطان والأمراضـ المعدية بعدما تتم معالجة الضرورات الحياتية، وكلما تقدمنـا في العمر، ازداد اعتمادنا على الرعاية وتضاءلت المعرفة. وتخولنـا الحلول المرتجاة لهذه المسائل الأساسية العيش في حياة مديدة وسعيدة. لذلك، صنفنا هذا الأمر كثاني أنواع التحديات. وعلـى أي حـال، لا أحد يستطيـع ضمان استمرارية الجنسـ البشري، إذ يتطلـب منا النمط السريع للتغيير في كوكبنا التأقلم بسرعة ملحوظة. وأمان

(1) According to Jean Ziegler، the United Nations special rapporteur on the Right to Food for 2000 to March 2008، in his book: Ziegler، J. (2005). L'Empire de la honte. Paris: Fayard، p. 130.

مجتمعاتنا ليس مضموناً أيضا. والأزمات المالية والتوسع المديني والنزاعات المسلحة، كلها عوامل مصيرية مؤثرة على وجودنا، الأمر الذي يدفعنها لتصنيفها في الخانة الرابعة للمشاكل.

وبالنسبة إلينا، إن أهم الأمور التي يجب أن يبدأ البشر بإيجاد العلاج لها هي: سوء التغذية، الجفاف، السرطان، الأمراض المعدية، رعاية المسنين، تراجع المعرفة أو التدهور الإدراكي، التغيير المناخي، نضوب الموارد الطبيعية، الكوارث الطبيعية، المدن السكنية، عدم الاستقرار المالي، الحرب والإرهاب، والتعدي على السلامة الشخصية.

وهذه المشاكل من حيث طبيعتها غير مترابطة في العمق، لهذا، لا نسعى إلى تصنيفها. وكل من يعمل لإيجاد حل لمشكلة التغيير المناخي يساهم أيضا، بطريقة أو بأخرى، في مواجهة الفقر. ويعني تقاطع هذه المشاكل أننا بإمكاننا تطوير أدوات مشتركة لمواجهتها – وهذا موضوع رئيسي يتمحور حوله هذا المؤلف.

ودون أدنى شك لسنا الوحيدين المهتمين بهواجس المستقبل. ففي العام 2004، نظم الناشط البيئي الدانمركي بجورن لومبورغ مؤتمراً في كوبنهاغن لمناقشة أبرز القضايا التي تواجه المجتمع العالمي[1] في الحقبة المعاصرة. وقد حرص لومبورغ، الذي تعرض للهجوم من قبل المهتمين بالبيئة والعلماء على حد سواء، وبالتالي أن يتم تحديد ميزانية عمومية دقيقة

(1) His project is published in two books: Lomborg، B. ed. (2004). Global crises، global solutions. Cambridge، UK: Cambridge University Press; Lomborg، B. (2007). Solutions for the world's biggest problems: Costs and benefi ts. Cambridge، UK: Cambridge University Press.

للوضـع الحالي الذي يمر بـه كوكبنا. وقدم المشاركـون في المؤتمر حينذاك لائحــة بأهــم التحديات العشرة المقبلــة تحت عنوان (اتفــاق كوبنهاغن). فاللائحة مشابهــة للائحتنا وتتضمن: التغيير المناخــي، الأمراض المعدية، النزاعات المسلحة، التعليم، عدم الاستقرار المالي، الحكومة والفساد، سوء التغذية والجوع، الإعانات، والحواجز الجمركية.

وقــد اقترح الرئيس المنتهية ولايته للرابطــة الأميركية لتقدم العلوم لائحة أخــرى[1] عام 2007، تعكــس بدورها الأهداف الإنمائيــة للألفية في الأمم المتحــدة[2]. هنــاك إذا، توافق جماعي فيما يختص بالتحديات الأساسية التــي نواجهها. لاسيما بالنسبــة للتقدم التقني، وبالــكاد تعرضت لائحة القضايا الأساسية عن القرن المنصرم للتغيير.

وكان كاتــب الخيال العلمي البريطاني جورج ويلز أول من نشر مقالات غــير خيالية عــن المستقبل في حوالي العــام 1900 [3]. كان ويلــز مقتنعاً أن القــرن العشريــن سيطرح أخطــاراً هائلة علــى الجنس البشــري. بحسب ويلــز، أطلق القرن التاسع عشر موجة لا يمكن وقفها من التقدم، ستتسبب جذرياً بتعطيل حيــوات البشر، وتوليد اضطرابات جماعية، وإشعال فتيل الحــروب. وقد اعتقد ويلــز أن وسائل النقل، على وجــه التحديد، ستغير وجه الكوكب.

(1) Holdren، J. P. (2008) Science and technology for sustainable wellbeing. Science، 319، 424.

(2) See the UN Web site، http://vermeer.net/caa

(3) Wells، H. G. (1901). Anticipations of the reactions of mechanical and scientific progress upon human life and thought. Complete text، http:// vermeer.net/cab

وانتصار الطرق علـى السكك الحديدية سوف يدمر المدن، وهذه المدن بدورها –بعد أن تتشكل على طريق السكك الحديدية– سوف تتكاثر في جميع أنحاء البلاد وتنشأ امتداداً لا نهاية له من المستوطنات في الضواحي.

وتكررت المواضيع المطروحة من قبل (ويلز) عبر القرن العشرين، وغالباً عبر استخدام مصطلحات مختلفة تعكس المخاوف الحالية. ونحن مقتنعون أن لا شـيء مـوروث في الطبيعـة البشرية يمنعنا من معالجة هـذه المشاكل. ولكـن، للقيام ذلك، يجـب أولاً أن نفهـم الآليات المتعلقـة بها وتضفي عليهـا طابـع الديمومة. عندها فقـط، نأمل بأن نجد علاجـاً شاملاً، فنحن نؤمن بـأن الحلول المطلوبة يمكـن تطبيقها وحصولها علـى المساندة على مستـوى عالمي. إذ لم يعد مجدياً عـلاج المرض على نطاق محلي، فالمزيد من الاستعمالات المنضبطة للمضادات الحيوية، في المناطق السكنية أمر عبثي، علـى سبيل المثال، إن لم يطبق الاستعمـال نفسه في علاج الحيوانات. وفي الصفحـات اللاحقة، سنكشف الآليـات المشتركة التي تكمن وراء الكثير من القضايا التي نواجهها في المرحلة الراهنة.

مقاربة

قد تبـدو محاولة استشراف المستقبـل أمراً سخيفاً، خاصـة عندما تأخذ بعين الاعتبار عـدد المرات التي فشلت خلالها التوقعـات المسبقة. وعلى سبيل المثال، كان النضـوب الوشيك لاحتياطي الوقود الأحفوري متوقعاً ومعلنـاً. وفي العـام 1865، توقـع (ستانلـي جيفونـز) أن ينفـذ احتياطي الفحـم خلال بضع سنـوات. وفي العام 1914، قامـت الولايات المتحدة

بحسابـات مفادها أن النفط الباقي في الأرضـ يكفي لعقد واحد فقط لا غـير. والتوقعـات اللاحقة ما بين الأعـوام 1939 و1951 تحدثت عن نفاذ النفط خلال ثلاثة عشر عاماً.

وكان التفاؤل في العام 1960، بظهور الطاقة النووية مرتفع المنسوب إلى حـد ساد معه اعتقاد بضـرورة التخلص من احتياطي النفـط، إذ إن الطاقة المزعومة الخالية من الكلفة ستفقده قيمته في أقرب فترة ممكنة.

وفي العـام 1972، توقع نادي روما أن النفط سيكفي لمدة عشرين عاماً[1] وليسـ أكثر. واعتبرت ذروة النفط (أي عندمـا يصل الاستهلاك إلى أعلى نسبـة تاريخياً) وفي العـام 2008 تدفق أنبياء الشـؤم إلى أن بدأت الأسعار بالانخفاضـ تدريجيـاً. والآن، عندمـا تسأل مختلف الخـبراء كم ستكفي احتياطـات النفـط، ستختلـف التوقعات علـى الأقل بثـلاث معدلات، والبعض قد يجاوبك ببساطة، إلى الأبد.

ويمكـن في هـذا السياق إضافة أمثلـة عدة، حيث التوقعـات المستقبلية قـد لقيت الفشل الذريع مراراً وتكـراراً. ويجب من حيث تبدو الأسباب واضحةً عنـد مراجعة التطـورات الماضية الكـبرى. وتستطيع الأحداث العشوائيـة الصغيرة أن تغير مجرى التغيير. وفكرة عبقرية واحدة لميكانيكي ألمـاني أحدثت تغيراً في عالم النقـل إلى الأبد. وقرار واحد من أحد المشايخ

(1) These energy forecasts are quoted in the essay “Against Forecasting” by Czech–Canadian environmental scientist Vaclav Smil. Anyone thinking about making quantitative prognoses should read it first. See Smil، V. (2003). Energy at the crossroads: Global perspectives and uncertainties. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press، chapter 3 and references therein.

العرب كان بإمكانه سحق اقتصادنا المعتمد على النفط، أو ربما بطارية تكنولوجية واحدة كان بإمكانها أن تغير مقاربتنا للنفط. ولا يمكن توقع مثل هذه النقاط التحول. إنها تعتمد على نهج تفكير شخص واحد، أو اختبار محظوظ لمجموعة من العلماء. ويسرد التاريخ فقط في الإدراك المتأخر، مما يعني أن من يتوقعون في المستقبل السبق في أعمالهم: يستقرؤون اتجاهات مرئية مسبقاً، وأحياناً يحتاطون عبر تقديم سيناريوهات مختلفة وفقاً للظروف الاقتصادية والاجتماعية. وهذه طريقة فاعلة لتحضير مقاربات قصيرة الأمد، أو تغييرات تدريجية، ومحاولة التفكير خارج المربع، بطريقة غير مألوفة. ولكن، غالباً ما تتنوع السيناريوهات من دون أن تقدم أي وسيلة للتخطيط الطويل الأمد.

والمشكلة في أن هذه السيناريوهات لا تقدم فعلياً أي معلومات جديدة على قدر ما تشكّل استقراءً لوضع معروف. أما الاستقراءات الجديدة فينقصها التغييرات المفاجئة. ويمكن للاستقراء أن يكون هشاً ومضللاً. أما المشكلة الأخرى فإن هذه السيناريوهات تعطي فقط الإحصاءات والأرقام، فهي معنية أكثر بالظواهر من القوى (العوامل) التي يمكن أن تحدثها.

وغالباً ما تتطور السيناريوهات إلى جوانب معينة من التطور الاجتماعي، مخلّفةً جوانب أخرى من دون أي تغيير، خاصة السيناريوهات المستقبلية، التي غالباً ما تعتمد على (المستوى الحالي من التكنولوجيا)، وبالتالي ينقصها اندفاع المهندسين لحل المشاكل الضاغطة فعلياً. وقد يفترض المعنيون حتى الآن أن لا شيء جديد لاكتشافه (كما الحال في توقعات

الذروة النفطية). وبالرغم من أهمية هذه الطرق في التفكير الإستراتيجي، لكنها لا تمنح التفسير الكافي، وتفوتها بالتالي نقاط التحول في مستقبلنا.

ولتحديد روزنامة أو أجندة العمل، يتم تطوير مقاربة جديدة لتكملة أدوات أصحاب التفكير المستقبلي. وفي العقد الماضي، عمل علماء الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا والاجتماع سوياً من أجل الوصول إلى كشف ما وراء الظواهر مثل الهزات الأرضية والتطور البيولوجي والعنف العرقي. ووضعوا أسس العلم الجديد عن الظواهر الجماعية في المجتمع والبيئة الطبيعية.

علم الظواهر الاجتماعية

من أجل فهم هذه المقاربة الجديدة، من المهم إدراك كيف اختلف العلم الجديد عن الطرق التقليدية التي كان يستخدمها العلماء. وعندما رمى غاليليو غاليلي الكرات المختلفة الحجم من برج بيزا المائل، لاحظ أنها وقعت جميعاً على المعدل نفسه، أو لم تفعل لأن دفع الهواء يؤثر على العملية. ومع ذلك، قام غاليليو بتجارب أثبتت أن تأثير الهواء غير مهم، فبقي له فقط قوة الجاذبية.

وبعد أعوام عدة، ليس واضحاً أي تجارب قام بها غاليليو، ولكن القصة ترددت مراراً لأنها تمثل فهم منهج العلم. فقد أثبت التركيز على جانب واحد من الواقع في هذه الطريقة كونه تقنية فاعلة وقوية. وأكمل العلماء التركيز على الظواهر المعزولة على امتداد القرون. يبدو الانتظام أوضح عندما يكون هناك عامل مفصول عن محيطه، الأمر الذي يخوّلنا أن نركز

على السبب ونتيجته. وقد أتاح هذا النهج الاختزالي للعلماء التعرف على القواعد الإنسانية للطبيعة.

فالوقت الذي يستغرقه (البندول) في التأرجح يبدو للوهلة الأولى متناسباً مـع الجذر التربيعي لطوله. والعلاقة مماثلـة لتلك الموجودة في قانون (أوم) للمقاومـة الكهربائية وقانون (نيوتن) للقوى المؤثرة على التفاحة، أو كما يقول علمـاء الرياضيات عند مناقشة النسبية: كل القوانين الأساسية لديها حيثيات خطية قوية.

لقد أثبت علم الاختزال نجاحه، وساعدنا على أن نفهم، ونتوقع ونسيطر علـى الطبيعة. ونستطيع على سبيل المثال أن نتوقـع الكسوفات الشمسية في الألفية الثالثة بدقة، وفي انتصار باهر للعلم على التخمينات البدائية[1].

وقد شكلت الاختزالية أيضاً قوة دافقة خارج عالم الفيزياء. فتمكن علماء البيولوجيـا استنتـاج قوانين بسيطـة للوراثة عبر دراسـة المعطيات منعزلة. وقبل أواخر القرن الثامن عشر، استوحى آدم سميث من النظرية الاختزالية للفيزيـاء المعاصـر لصياغة القوانـين الاقتصادية الأساسيـة. ففوجئ العديد مـن الأشخاصـ عندما اكتشفوا أنـه من الممكن وصف ظاهـرة اجتماعية كالتجـارة في قوانين مشابهة للفيزياء. ويتشـارك جميع التجار في الدوافع لزيادة أرباحهم، وهذه هي الشمولية التي تخلق مجال التجريدات الرياضية.

أما عمليـاً، فالقوانين الأساسيـة لعلم الاختزال هـي بمجملها إفراط في التبسيـط. ولا يحدث العديد من الظواهر فعليـاً في عزلة. وغالباً ما تعمل

(1) See http://vermeer.net/cac

جميع الطرق العملية معاً، فتتمكن إحداها من تحييد أو تكثيف الأخرى.

وفي النتيجة، هناك علاقة بسيطة في عدد من الحالات بين السبب والنتيجة. في الرياضيات مثلا، غالباً ما تشمل هذه العمليات حيثيات غير خطية قوية.

وفي العام 1961، فوجئ عالم الأرصاد الجوية الأميركي إدوارد لورنز بالتوقعات الجوية التي وردت على حاسوبه، فاكتشف أن تغييراً بسيطاً في الشروط البدائية لحساباته قد تؤدي إلى توقع وضع مختلف كلياً. والأرقام التقريبية المختلفة كان بإمكانها أن تؤدي إلى تغيير ملحوظ، فأدرك لورنز أن هذا ليس نتاجاً صناعياً لأرقامه، ولكن الأمر مشابه لما يحدث في الحياة الحقيقية. ومن هنا جاء تعليقه المشهور أن رفرفة أجنحة الفراشة بإمكانها تحويل مسار الطقس. وبالتالي، يمكن لاضطرابات طفيفة أن تشكل تأثيراً كبيراً في الأنظمة المعقدة.

استنتج لورنز أن هذا يجعل توقع الطقس غير قابل لأكثر من أسبوع مقدماً، حيث إن حساسيته للتغييرات الصغيرة تجعل المناخ فوضويا، كما نوضح لاحقاً. وجذبت نظرية الفوضى أو أثر الفراشة اهتمام العديد في أوساط العلم والأعلام، ولاقت فكرة أن العالم حولنا يتطور بشكل عشوائي جاذبية كبرى.

ولكن، وعلى جميع الأحوال، ما هي نظرية الفوضى، في نهاية المطاف[1].

وعلى العكس، فقد شكلت بداية بحث علمي لاقتفاء أثر الأنظمة في الحالات غير المتوقعة. فقد اكتشف، على سبيل المثال، أن معظم الأنظمة

---

(1) Lorenz، E. N. (1995). The essence of chaos. Seattle: University of Washington Press.

الفوضوية لا تتطور عشوائيا بشكل تام. من الممكن أن يكون هناك تطور غير متوقع كليا، ولكن لا يدفن وجود نظام ما خلف الفوضى. مثل بسيط على ذلك هو زحمة السير على الطريق السريع. عندما يرتفع عدد السيارات، يحتمل حدوث إحدى الحالتين: إمّا تستمر السيارات في التحرك بسرعة فائقة، وإمّا يكون هناك زحمة سير. الخط الفاصل بين الاثنين رفيع جدا. تغيير بسيط بإمكانه قلب النظام من حالة مستقرة إلى حالة أخرى. يمكن للزحمة أن تبدو خانقة من دون أي سبب ظاهر. تبدأ التغييرات بالظهور حين تلامس الحدود الخطيرة، فتكون النتيجة تحول السيارات من الوقوف إلى السير. تعريف هذه العوامل المؤثرة من أهم إنجازات نظرية الفوضى. دراسة الحد الفاصل بين الاثنين يمكنه أن يؤمن دلائل عن كيفية دفع الوضع بالاتجاه المناسب. تحوّل الإضاءة الأفضل على الطريق السريع، على سبيل المثال، السائقون إن يقودوا أسرع ويتجاوبوا مع بعضهم البعض بطريقة منضبطة. هذا يعني أن زحمة السير لا تتوقف. بالتالي، الحد الفاصل بين العوامل الجاذبة من الممكن أن ينتظر. وقد يبدو مثل الطريق السريع عادياً، ولكن توجد حالات مماثلة كثيرة: المناخ في الهند، على سبيل المثال، يبدو منقسما لحالتين، رياح موسمية أو جفاف. ويمكن لفهم التحول بين الاثنين أن يحسن الزراعة في المنطقة.

في أعقاب نتائج لورنز الرائدة، قامت مجموعة من العلماء الموهوبين بالعمل بصبر وثبات لكشف الأنماط المشابهة في الأنظمة الديناميكية المعقدة.

في أواخر الثمانينيات، قام الفيزيائي الدانمركي بير باك بدراسة

التحويـلات في الأنظمـة المعقـدة، وكان الفيزياء في تلـك الحقبة مصدر إلهـام وافر. استعمل بـاك الرؤية الفيزيائية عن كيفية تحـول العوازل فجأة إلى الموصلات، وراقب تحول المياه السائلة إلى ثلج. وبدأ بعدها، باستعمال المفهـوم نفسه أبعد من الفيزياء. ويعترف باك بكونه فضوليا، أو قد ساعده الأمـر كونـه دائما يدس أنفه في أمـور الآخرين. عـبر استكشاف طرق جديـدة، لاحظ أن الأنظمة غير المعقدة لا تتجه كلها نحو الاستقرار. على العكس، بعضها يتجه نحو الاستقرار المتزايد.

يـزداد التوتـر ويحيط قشرة الأرض، متفاقماً شيئاً فشيئـاً إلى حد نصل فيه إلى هـزة أرضية. وتتكرر عمليات مماثلة في الثلـوج التي يزداد تكتلها تدريجيا لينتهي الأمر إلى انزلاق منطقة جبلية أو انهيار جليدي، وتتضمن الأمثلـة الأخرى الحرائق في الغابات أو حتى انقراض الأجناس. وغالبا ما تتكرر هذه الأحـداث الكارثية بعد حدوث هزة أرضية، يعيد التراكم من جديد وتتكرر الدورة.

مـع بقاء القـوى الكامنة، ستستمـر القشرة الأرضيـة بالتوجه نحو اللا استقـرار ووضع عصيـب، يسميه بير باك (الحرجيـة المنظمة داخلياً). من المؤكـد أن الهزة الأرضيـة المقبلة قادمة، السؤال الجديـر بالطرح هو متى وكـم ستكـون قوتها. إن كان منسـوب التوتر عاليا، فإن تحـركا عشوائيا بسيطـا سيسبـب الهزة. وقد تختلـف تفاصيل كل كارثـة، ولكن القوى العاملة هـي نفسها. قام باك بدراسة إحصاءات الكوارث المتكررة، وكان من المعروف مسبقا أن حجم الزلازل المتعاقبة يعرض انتظاما غريبا. وتعتبر هزة أرضية بقوة ثمانية على نطاق ريتشر نادرة الحدوث. هزة أرضية بقوة

ستة، على العكس، عرضة للحدوث أكثر بعشر مرات في أي مهلة زمنية.

كذلـك بالنسبـة إلى الهزات من قوة ستة أو خمسـة وما شابه ذلك. يتم عرضـ هذا الانتظام على مدى فترة طويلة جـدا، وينطبق الأمر أيضا على المناطق المختلفة[1].

درجـة الهزات الصغيرة نسبة إلى الهـزات الكبيرة هي بذلك ثابتة، ممثلة قانون التحجيم، أو قانون القوى، كما تسميه الرياضيات غالبا. وتتواجد قوانـين التحجيم حيثمـا يتكدس التوتـر لدرجات عاليـة. وتعد هذه من خصوصيـات الأوبئـة، الحروب، أو حتى نمو المـدن، اشتباكات الأسواق الماليـة، والعائلات، كما نوضح في هذا الكتـاب[2]. كلما اكتشفنا قانونا للتحجيـم، كان ذلك مؤشرا لدراسة القوى الكامنـة وراء دفع الوضع إلى اختلال التوازن. ويمكن لفهم هذه القوى تخويلنا أن نقطع تكرار الهزات أو حتى منع الكارثة المقبلة.

حـول منعطف الألفية الجديدة، ابتكر العـالم الريادي الشاب البير لازلو

---

(1) These earthquake statistics are known as the Gutenberg–Richter Law. See Gutenberg، B.، and Richter، C. F. (1954). Seismicity of the earth and associated phenomena، 2nd ed. Princeton، N.J.: Princeton University Press، pp. 17–19 (“Frequency and energy of earthquakes”).

(2) Per Bak himself has studied many of these subjects and has written a highly accessible introduction: Bak، P. (1997). How nature works: The science of self–organized criticality. Oxford، Melbourne، and Tokyo: Oxford University Press. Another interesting introduction is Newman، M. (2004). Power laws، Pareto distributions and Zipf’s law. Arxiv preprint cond–mat/0412004; see http://vermeer.net/cad. And a popular account is Buchanan، M. (2000). Ubiquity: The science of history …or why the world is simpler than we think. New York: Three Rivers Press.

بربازي مقاربـة مختلفة لدراسة خطورة الأنظمة المعقـدة[1]. ولد بربازي، الهنغـاري الأصـل، في رومانيـا الشيوعية، وبدأ بدراسـة نظرية الفوضى بينما كان نيكـولاي كوسيسكو يصارع للمحافظة على تمسكه بالسلطة. أدرك بربـازي أن الكثـير من الأنظمة المعقدة يمكـن أن تعرف كشبكات. وتشمـل الأمثلة الطريقـة التي ينتشر فيهـا الفيروس عن طريـق شبكة من العلاقـات وطبيعـة النظـام الإيكولوجي باعتبـاره شبكة مـن الحيوانات المفترسـة والغنائم. لم تكن هذه مقاربة جديـدة، ولكن العلماء كانوا حتى ذاك الوقـت يستعملون الشبكات الثابتة لتوصيف أوضاع من هذا النوع. الجديد الذي قدمـه بربازي كان التركيز على كيفيـة تغير هذه الشبكات، حيث اكتشـف أن الطريقة التي تتطور فيها هـذه الشبكات تظهر الأنماط العامـة. والسبـب وراء ذلـك أن شبكات عدة تجمـع أنفسهـا لتصل إلى فعاليـة أكبر. إنهـا ميزة للاتصال برابط مميز بالفعـل. ولهذا السبب، يزداد تعقيـد العوائق المتفاقمة في الشبكة. تتطـور[2] على سبيل المثال الشبكات التجاريـة حتى تستحوذ مجموعة من التجار علـى النقاط المميزة. اكتشف بربازي أيضـا أن توزيع هذه الثروات يتطور حتى يصبح مشابها لما يعرف

(1) A technical overview may be found in Albert، R.، and Barabási، A. L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. Reviews of Modern Physics، 74(1)، 47–97. A popular account is Barabási، A. L. (2003). Linked: How everything is connected to everything else and what it means. New York: Penguin. Also see Buchanan، M. (2002). Nexus: Small worlds and the groundbreaking science of networks. New York: Norton; and Watts، D. J. (2003). Six degrees: The science of a connected age. New York: Norton.

(2) Albert، R.، and Barabási، A. L. (2002) Statistical mechanics of complex networks. Reviews of Modern Physics، 74(1)، 47–97.

بقانـون تحجيم. الإنترنت، على سبيل المثال، محكومة بعدة محاور مترابطة، كذلـك لدى الآليات التنظيميـة للخلايا الحية بروتينـات قليلة التي تحافظ علـى كامل العمليات في الميـزان. وتعد اتصالات رئيسيـة مثل هذه أمرا حاسمـا في تحقيق الاستقرار، فإن أخذت بعيدا، تتشظى الشبكة. انقراض الأجناس الرئيسية قد يسبب بذلك انهيار النظام الإيكولوجي المعني، بينما يثبـت استمرار العديد من الأجناس الأخرى بلا أهمية. وتعد هذه المعرفة ذات أهمية كبيرة في الحفاظ على الطبيعة، وفي حالات أخرى تكون فيها الشبكات على صلات خطيرة.

وهـذه بعض مـن الرؤى المنبثقة مـن علم الأنظمـة الديناميكية المعقدة. علـوم الرياضيـات للأنظمة المعقـدة عرّفت أيضا على امتـداد العقود عبر طـرق مختلفة تمكننا من تحديد النقاط الأساسية. أحد أهم الحافزين في تلك الفـترة كانت مؤسسة سانتا فيه في الولايات المتحدة الأميركية التي أعدّت مجموعـة من الباحثين عن المسائل المعقـدة التي تحدث في الأنظمة الطبيعية والاصطناعية والاجتماعية. أصبـح التعقيد علماً بحد ذاته، وباتت طرقه متداخلـة بشلك رئيسي بالعلوم الطبيعية والعديد من حقول التكنولوجيا. وباتت تستعمـل بشكل روتيني في تصميم الطاقـة، الكمبيوتر، شبكات الاتصـالات، والطائـرات المتطورة. في الوقـت نفسه، بدأ علـم التعقيد بالدخول إلى عوالم مختلف كالاقتصاد، المال، الطب، علم الأوبئة، النزاعات المسلحة والتطور الحضري أو المدني.

وغالبـاً ما يتطرق الخبراء التي أنجزت مقابلات معهم في هذا الكتاب إلى علـم التعقيد. العلم والتكنولوجيا في صلب المسائل المعقدة، وكذلك علم

التعقيد الذي يصبح لا غنى عنه لتحليل كل التحديات المطروحة أمامنا[1].

وقد شهد العقد الماضي منشورات عدة مثيرة للاهتمام من قبل العلماء عن كيفية تطبيق الرؤية الجديدة في علم التعقيد للتطور في مجتمعاتنا.

على سبيل المثال، أصبح علم التعقيد معتمدا في حقل البحوث المتعلقة بالمناخ لتحليل التغيرات ونقاط التحول. ومن هذه المنشورات بحث أعده توماس هومر ديكسون يتطرأ فيه إلى (الديناميكا الحرارية للإمبراطورية) والتي تقود إلى ترافق أنظمة تكنولوجية واقتصادية واجتماعية تظهر هذه التحولات[2]. وقد تخصص بعض من المفكرين والمستقبليين في هذا النوع من التحليل.

يركز الاستقرار والتحول في التفكير العلمي بمعظمه على هذا التعقيد. وهذا أول ما نأخذه بعين الاعتبار حين نقيّم التحديات التي تواجهنا. ويمكن لهذه التغييرات أن تكون منظمة كما ورد مسبقا في تحليل بير باك عن الأنظمة الخطيرة التي تنظم نفسها بنفسها، أو قد تنقلب من حالة مستقرة إلى أخرى غير مستقرة، كما الحال في زحمة السير. إذ يمكن لتحول بسيط وغير مرئي أن يقلب الأنظمة رأسا على عقب. لإعطاء مثل آخر، استغرقت الثورة الصناعية أكثر من قرن كامل قبل أن تلاحظ أن حرق الوقود الأحفوري كان له تأثير على التغيير المناخي[3]، رغم وجود

(1) Rockstrom، J.، Steffen، W.، Noone، K.، Persson، A.، Chapin، F. S.، et al. (2009). A safe operating space for humanity. Nature، 461(7263)، 472–475.

(2) Homer–Dixon، T. (2006). The upside of down: Catastrophe، creativity and the renewal of civilization. Toronto: Random House of Canada Ltd.

(3) The first scientist to examine this issue quantitatively was Svante Arrhenius in his 1896 paper: Arrhenius. S. (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. Philosophical Magazine and Journal of Science، 41(Series 5)، 237–276.

العلامات والدلائل على ذلك، الأمر الذي يحفزنا على ملاحظة التفاصيل الصغيرة في مرحلة مسبقة. بذلك، يساهم الفهم المسبق للانهيارات غير المتوقعة في تأجيل كوارث كبرى أو حتى منعها من الحصول. على الأقل حينها، يتاح لنا الوقت للحد من الأضرار وجعلها أقل إيلاماً.

قولبة التعقيد

استفاد علم التعقيد من تطور تكنولوجيا الكومبيوتر، كونه يشكل النموذج المثالي لمراقبة كيفية عمل العمليات المكثفة، ويساعدنا بالتالي على كشف أنماط التعقيد. ولكن، لا تستطيع حسابات الكومبيوتر أن تقود إلى توقعات محددة. وقد اكتشف علم التعقيد محدودية هذه التوقعات عبر إدوارد لورنز. ومع ذلك، تساعدنا نماذج الكومبيوترات على فهم القوة الكامنة، التفاعلات والعلاقات المتشابكة التي تسبب المشاكل. يستطيع علماء الفيزياء مثلاً فهم السلوك الجماعي لقطعة الكريستال عبر الأخذ بعين الاعتبار كل ذرة منفصلة. كذلك، يتابع الاختصاصيون ذرات غير محدودة على كومبيوتراتهم، المحكومة بمجموعة من القواعد للتفاعل فيما بينها. ويستطيع العلماء بذلك التطور من الفردي لمراقبة كيفية تطور الجماعي. سوياً، تشكل مجموعة الذرات كريستالا كاملا، ويستغل العلماء ذلك عبر مراقبة الظواهر العيانية. كما تطبق هذه الحسابات على تفاعلات الخلايا المناعية، المواطنين والأعمال. ويشابه مثال تطبيق هذه النظرية على المدن في اللعبة الإلكترونية (سيم سيتي)، أي مدينة سيم. من جهة أخرى، تبقى هذه اللعبة على جانب كبير من الخطورة. تختلف مقارنة القوى الكامنة وراء نمو المدينة في اللعبة عن الواقع المعاش، ولكنها

تسلط الضوء على العوامل المهمة وكيفية تفاعلها مع بعضها البعض.

مع تزايد قوة الحاسوب، يمكننا تنفيذ كيل متعددة واقعية، على نحو متزايد، أو ما يسميه العلماء بتحفيز مونتي كارلو. ورغم أن بعض الأنظمة الشديدة التعقيد تبقى أبعد من قدرات أفضل الكومبيوترات، نستطيع أيضا الاهتمام بالأمر عبر تطبيق بعض الحيل الرياضية. النهج المتبع في هذه الحالة هو إجراء عمليات حسابية مفصلة لعناصر حاسمة في تحقيق العلاقة مع التقنيات المتفاوتة في القرب أو البعد من النظام. التحدي هو إذا (إلصاق) التفاصيل المختلفة ببعضها البعض. وقد أعيد تعريف الإستراتيجيات متعددة النطاقات من هذا النوع على مر العقد الماضي في الفيزياء والكيمياء، حيث يتم ربط مجهرية الحجم من الذرات مع السلوك العياني للمواد الصلبة والسوائل والغازات. كما يتم استعمال مقاربة تعدد النطاقات للأنظمة المعقدة. تتناسب الشبكات مع هذه المقاربة، بما أنها تتضمن مزيجا من الروابط المتجاورة والبعيدة والتي يمكن إدراجها في نموذج متعدد النطاقات.

ماذا تفعل التكنولوجيا في مواجهة الأزمة؟

في هذا الكتاب، نعرف عدة تحولات مفاجئة يمكننا تفاديها. وغالباً ما تكون التكنولوجيا جزءاً من الأزمات التي نعالجها. سبب استخدامنا للتكنولوجيا ظاهرة الاحتباس الحراري وأثبت كذلك أن الأزمة المالية تحدث الآن على أساس عالمي حقا. والتكنولوجيا هي جزء من قضيتنا، وينبغي أيضا أن تكون جزءاً من الحل ومن هنا أهمية التركيز على التكنولوجيا التي يمكننا استخدامها لمنع الكوارث وإدارة التحولات.

التكنولوجيـا قد تساعد أيضا في توجيهنا بعيدا عن تحولات حرجة معينة. في بدايـة الأمر، يمكن للتكنولوجيا أن تساعدنا على تحسين دقة القياسات لدينـا. حتى لو كنـا لا نستطيع أن نتنبأ بدقة منسوب ميـاه البحر، أو مثلا كم سوف يرتفـع، فيمكننا على الأقل معرفة الاتجـاه الذي يتخذه. بهذا، تبقي إصبعـك على النبض، وتقوم بالعديد مـن القياسات، لمقارنة النتائج بتلـك التي يعطيها الكومبيوتر. يمكن لشبكة متماسكة ووثيقة من محطات الرصـد أن تخبرنا كيف تتغـير الصفائح الجليدية، وكيـف تكون الغابات المطـيرة استجابة لتغير المناخ. حتى الزلازل لا تأتي من العدم، كما سنرى، بل مـن المهم مراقبة كيف يتراكم الضغط بعنايـة من خلال قياس التغيرات في قشرة الأرض. سنكون قادرين بعد ذلك على إطلاق التحذير حالما تبدأ الأرض بالارتعاش.

شهـدت الأعـوام القليلـة الأخـيرة تقدما في فهـم الإشـارات المبكرة للتحولات الخطيرة[1]، فحتـى الأنظمة المختلفة والمنوعة يبدو لها جوانب متقاربـة عندمـا تقترب من نقطة تحـول معينة. على سبيل المثـال، قد تبدأ الأنظمـة بالتأرجـح بين الـدول بالتناوب. ويمكـن مراقبة هـذا الأمر في البحـيرات قبل أن تتحول إلى دولة معكرة. وهنـاك نوع آخر من السلوك يسمـى بزيادة الترابط التلقائي من الإشارات. هـذا يعني أن شفاء الأنظمة مـن التعكير يصبح أبطأ في حال وجود تحول، وهذا ما تشير إليه سجلات

(1) Scheffer، M.، Bascompte، J.، Brock،W.A.، Brovkin،V.، Carpenter، S. R.، et al. (2009). Early–warning signals for critical transitions. Nature، 461(3)، 53–59.

المناخ منذ أكثر من 34 مليون عام.

في ذاك الوقت، توجه عصر مدار الأرض إلى خلاصة. قبل الاحتباس الحراري الذي يمر بمرحلة انتقالية، تكون التركيبة المناخية أكثر ثباتا. يبدأ نوع ثالث من السلوك بالظهور لأن الأنظمة أكثر عرضة للاضطرابات حين تقترب من تحول خطير، الأمر الذي يزيد درجة التفاوت. وهذا يمكن أن يحدث في إشارات الدماغ قبل استيلاء الصرع، عندما تبدأ إشارات الدماغ الإلكترونية بالقفز.

في الأنظمة شديدة التعقيد، ليس واضحا تماما ما ينقصنا لالتقاط هذه الإنذارات المبكرة. في كل حالة، يجب إيجاد المؤشر الصحيح، ومن المهم أن يكون لدينا قياس مفصل مع قدرة عالية على تحديد المكانية والزمانية. للتحقيق في الحالات الحرجة، غالبا ما يكون مفيدا أن تقصد الأماكن حيث يرتفع الضغط. عند دراسة الجوع، على سبيل المثال، تقصد إفريقيا. عند دراسة المدن الكبرى، تقصد الهند أو اليابان. هناك يمكنك رؤية معلمات في بداية التحولات. ونصادف في هذا الكتاب عدة معالم سيئة الرصد، تحتاج إلى القياس على نطاق أصغر. القياسات الدقيقة تخولنا أن نتجاوب في الوقت المناسب – مفهوم غالبا ما يستعمل في التكنولوجيا.

القاذفات المقاتلة الحديثة على سبيل المثال تعتمد تماما على ذلك، فمن دون أجهزة الاستشعار ونظم التحكم، تصبح غير مستقرة لدرجة أنها تسقط ببساطة كقطرات الماء من السماء. الأمر نفسه يصح في العديد من المجالات الأخرى. إذا تفشى مرض معدٍ جديد في قرية معزولة وتم اكتشافه بسرعة كافية، فمن الممكن منعه من الانتشار. يمكن للتكيف

السريع استعادة الاستقرار.

بالإضافة إلى قياس أدق، ينبغي لنا أن نحاول استخدام التكنولوجيا لتأخير التحولات. هناك طريقة واحدة للقيام بذلك وهي الفصل في الشبكات العالمية من التفاعلات. كما رأينا، أصبحت هذه الشبكات عالية جدا، وذلك نتيجة للجهود البشرية لزيادة الفعالية. لذلك، نحن بحاجة إلى تخفيض الكفاءة، وتقليل الاتصال، وإبطاء السرعة. وهذا ما اقترحه توماس هومر ديكسون وآخرون. بذلك، سوف يكون التراجع ثمناً ندفعه لتفادي الأزمات العالمية. وبمكن ملاحظة هذا الأمر في كثير من المجالات. على سبيل المثال، فإنه من الصعب رؤية كيف يمكن تحقيق الاستقرار المالي من دون إضافة المزيد من الاحتكاك، ولكن هناك عدد متزايد من الحقول حيث التكنولوجيا الجديدة تجعل اللامركزية ممكنة من دون فقدان الفعالية. فقد أصبح إنتاج الكيماويات، على سبيل المثال، ممكنا الآن على نطاق أصغر من قبل. إضافة إلى ذلك، يمكن تفعيل شبكات الاتصالات وتوزيع الكهرباء من دون زيادة الضعف. الذي يهم هو هيكل الشبكات المعنية وطبيعة الآليات المقترنة. يمكن للتبصر أكثر في الأنظمة المعقدة أن يؤدي إلى وضع إستراتيجيات جديدة للتعامل مع مشكلة الأزمات العالمية، وقد يزودنا بما نحتاج إليه لفهم الديناميكية غير الخطية.

ما هو أكثر من ذلك، فإن التأسيس لتكنولوجيا جديدة يحتاج الكثير من الوقت، وبالتالي تضيق أمامنا فرصة تفادي الكارثة. فتقترح بذلك التكنولوجيات الحالية طريقا أسرع وأكثر أمنا. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك، التحكم في شبكات الكهرباء. في أوروبا والولايات المتحدة

الأميركية، باتت هذه الشبكات ملتفة إلى درجة تتيح أن يشكل فشل محطة واحـدة للطاقة خطرا مشابها لأثر الضربـة القاضية. يمكن لانقطاع بسيط في التيـار الكهربائـي أن يتسبب بانهيـار البنية التحتيـة بأكملها. لتحقيق الاستقـرار في شبكة الكهربـاء، يجب تخفيف الترابط من هذا النوع. إذا حـددت كل محطة للطاقة خدماتها إلى المنطقـة الخاصة بها، الأمر الوحيد الـذي سوف ينتقل من مـكان إلى آخر هو القوة الفائضـة. محطات توليد الطاقـة المتباعـدة مثل هذه لـن تهدد بعضهـا البعض باستمـرار. احتمال آخـر لمعالجـة هذا الترابط هو جعـل الشبكة نفسها أكـثر مرونة من خلال إعطائهـا القدرة على إعادة توجيه الطاقـة. كما تجري متابعة تحويل المسار كإستراتيجية لشبكات الاتصالات السلكية واللاسلكية. في الحالتين، فإن الحل ينطوي على المعرفة الراسخة للتوزيع المقسم.

رغـم ذلك، مـن المهم متابعة تطويـر العلم والتكنولوجيـا، إذ إن تطبيق التكنولوجيات السابقة، وإن كان مفضلا في بعض الأحوال، قد يكون غير كاف. نعـرف على سبيل المثال أن احتيـاط الطاقة الأحفورية سينفذ مهما استعملناه بفعالية، إذ إنها بكل بساطة الموارد المنهية وغير القابلة للتجديد. في لحظة ما، لا بـد أن يحدث تحول معين لتكنولوجيات الطاقة الأخرى. سوف نكون بذلك بحاجة لابتكار شيء جديد، أي نقلة نوعية، لإنشاء بنية تحتية مختلفة تماما للطاقة. ليس من السهل معرفة أي تكنولوجيات بإمكانها إحداث هذه النقلة، وبالتالي يجـب اكتشاف مختلف الاحتمالات بشكل متواز. في معظـم الحالات، من الأفضل تحديـد المصاعب التي سيتوجب تخطيهـا. مثلا، عند أخـذ الهيدروجين كبديل للوقـود في وسائل النقل،

يجب معرفة كيفية تخزينه أولا. وسيحاول هذا الكتاب تحديد التحديات الحاسمة من هذا النوع.

ونحن حريصون أيضا على لفت الانتباه أن المسألة ليست حكراً على التكنولوجيا، بل للبشر دور أساسي فيها. مرات عدة، يمكن للتكنولوجيات أن تكون موجودة، ولكن يصعب تطبيقها لأسباب اجتماعية. لمجتمعاتنا ديناميتاتها الجماعية التي قد يكون من الصعب تغييرها. نحن حاليا في حالة من الزيادة في الاستهلاك للمحروقات: يشكل النفط البديل عائقا في وجه إيجاد البدائل وبالتالي الانتقال باتجاه تكنولوجيات جديدة. لهذا السبب، سنركز أيضا على القبول الاجتماعي للتكنولوجيات الواردة هنا.

بعض الخبراء الذين يتحدثون في الأجزاء المتبقية من هذا الكتاب هم مختصون في علم التعقيد. معظم العلماء هنا يتطرقون للتعقيد في حقل اختصاصهم فقط. يستخدمون لغة مشتركة فيما يتعلق بالتحولات والاستقرار، كما يتشاركون الاهتمام بمشاكل عصرنا. التحديات التي تنتظرنا خطيرة للغاية، وهناك العديد من المواضيع التي يجب معالجتها على وجه السرعة من قبل أي شخص لديه رغبة في جعل العالم مكانا أفضل للسكن. من الواضح، على الرغم من ذلك، إن تطور البدائل في الوقت المناسب سوف يجعل أي الانتقال أقل حدة، ويمكن أن يساعد ذلك كدليل في ما ينتظرنا مما تبدو أن تكون أوقاتا صعبة.

الفصل الأول

الحاجات

1 - الشبكات الحيوية

تبدو الكثافـة السكانية في العالم في طور الانخفاض. منذ حوالي خمسين عامـا، كان متوسط المرأة للإنجاب ما يتراوح بـين خمسة أو ستة أطفال. أما المعدل العالمي الآن فهو فقط 2.6. وبالتالي، بين جيلين وحسب، فقد انخفض معـدل التكاثـر إلى أعلى قليلا من مستـوى الإحلال الذي هـو حاليا 2.3. في نصـف هذا العـالم، انخفضت نسبة الإنجاب إلى ما هـو أقل من المطلوب للحفـاظ على الجنس البشري. وهذا يشمل دولا كالولايات المتحدة، الصين وإندونيسيـا. وفي الاتحاد الأوروبـي، روسيا، واليابان، فـإن عدد السكان يتقلص للمـرة الأولى لأسباب مختلفة عـن الحرب، الأمراض، أو كوارث أخرى. المسألة هي وليدة إرادة حرة، فقد أدى تعليم المرأة وارتفاع الازدهار إلى إنتـاج تباطؤ ملحـوظ. في جميع أنحاء العالم، لم يعـد عدد الولادات في ارتفـاع، الأمر الذي يدعو إلى التفاؤل، حيـث إن الجنس البشري بات أكثر مرونة في ما يخص التناسل. فقط في الدول المتشددة دينيا، سواء في الإسلام أو المسيحية، ما زالت معدلات الولادة أكثر من مستوى الإحلال[1].

مع ذلـك، يستمر العدد الكلي للسكان بالنمـو، لأن الكثير من البلدان لديها نسبـة عالية من الشبان في تشكيلاتهـا الديموغرافية. هذا إضافة إلى

---

(1) See the theme issue of the Philosophical Transactions of the Royal Society B (October 27، 2009). Short، R. V.، and Potts، M.، comp. and ed. The impact of population growth on tomorrow's world، 364 (1532).

ارتفـاع متوسط العمر المتوقع في أماكن كثيرة جـدا. جنسنا البشري ينمو حاليـا بحوالي 75 مليـون شخص سنويا، مما يعني أننـا سنكون بحاجة إلى المزيد من الغذاء والماء والإسكان في المستقبل.

ولكـن المشكلة الحقيقيـة هي أن نمو الـثروات والمصادر الحياتيـة يجب أن يحدث بمعـدل أسرع بكثير من عدد السكان. وتشهد حاليا العديد من الدول نمـوا اقتصاديا سريعا، الأمـر الذي يحدث بدوره تغيـيرا في أنماط الاستهلاك. بـدأ الناس بأكل كميات أكبر من اللحوم، واستخـدام مزيد من إنتاج الألبان، واستهـلاك المزيد من الطاقة. نحن الآن نعيش في عالم حيث زاد عدد الأطفال الذين يعانون من السمنة المفرطة أولئك الذي يعانون من سوء التغذية. مع تجاوز الطلب للعرض، هـم دائما الفقراء الذين يعانون. وقد بدأت الصين وعدد من الدول العربية إلى شراء مساحات كبيرة بالفعل من الأراضي الزراعية في إفريقيا لضمـان إمداداتها الغذائية الخاصة بها. إن لم يتوقـف الضغط عن السكان في المناطق الأكثر حرمانا، من المرجح أن نشهد زيادة الهجرة وتكرار الصراعات.

كيف يمكننا إيقاف الهدر في المناطق الغنية وتأمين المياه والطعام للمناطق الأشـد فقراً؟ هـل يمكننا مواجهة زيـادة الرخاء؟ معدل كميـة مياه الشفة المتوفرة للشخـص الواحد في العالم تشكل فقط نسبة 25 % مما كانت عام 1960. يواجـه واحد من ثلاثـة أشخاص في العالم نقصا في المياه العذبة[1].

---

(1) The British government's Chief Scientific Adviser John Beddington، professor of applied population biology at Imperial College London، warned in 2009 that the increase in population، wealth، demand for water، and energy use would lead to an explosive situation by 2030. The fi gures regarding water are quoted from his statement.

إلى ذلــك، النقص في المياه يعني النقصــ في الطعام. على الأرجح، لم تكن جــذور المجــازر في رواندا عــام 1944 عرقية، إنما كان مردهــا إلى النقص في الطعــام[1]. وقد حُذرنا من ذلــك. وهكذا كان الحال منذ نبوءة توماس مالثوس الشهــيرة عن الكارثــة الديموغرافيــة. وقد كان احتمــال إدخال تكنولوجيــات مختلفة، مرهقا من دون شك. مع ذلــك، في الماضي، أدى تعريف التكنولوجيــات الجديدة إلى زيادة الاعتماد. عندما يبدأ المزارعون باستعمــال التعشيب، والأسمدة والآلات والري، يصبحون متداخلين في شبكــة تضيق من الموراد ويصبحون أكــثر عرضة للتغيير مع زيادة الفعالية. المــزارع المثمــر بذلك هو الآن أكثر عرضة للتأثــر في حال زيادة في أسعار النفــط أو ظهور آفة جديدة. وبالتالي، يزيد تكثيف الزراعة من مخاطر أزمة الغــذاء، الخطر الحقيقي الذي يواجهنا في محاولتنا لرفع إنتاج الأغذية. وقد شهدنا هذا الأمر على نطاق عالمي للمرة الأولى عام 2007.

في الفصــول المقبلــة، سيظهر لنا اثنان مــن العلماء كيفية زيــادة الإنتاج الغذائــي وتوفير المياه مع المحافظة على المرونــة وقابلية التكيف. يشرح لنا فرانــك ريجزبرمــان، خبير مالي يعمــل في غوغل.اورغ، كيــف تستطيع المجتمعــات الريفيــة استعمال تقنيــات الاتصال لتخفيــف اعتمادها على شــركات الميــاه. كما يظهر لنا مونتــي جونز، مربي نبات مــن غانا وسفير عالمــي للغذاء، كيف يكون التنــوع الزراعي في إفريقيــا نقطة قوة. يطرح الخبــيران أيضا أفــكارا جديدة عن كيف تساعدنا المرونــة وقابلية التكيف

(1) Diamond، J. (2006). Collapse: How societies choose to fail or succeed. New York: Penguin.

على التحضـر بشكل فاعل للتغيير المناخي، وبمساعدة الحظ، كيف نتعامل بشكل أفضل مع المشـاكل السياسية. وتشكل مقاربتهمـا احتمالا كبيرا لتأمين الحاجات الغذائية والمياه بشكل جيد في المستقبل.

تركـز الأمثال الـواردة في هـذا الكتاب علـى المناطق التـي يظهر فيها النقص بشكل واضح، ولكن تحسين الوضع العالمي للغذاء لا يتم فحسب بالاهتمـام بالزراعة في المناطق النائيـة. يمكننا أيضا تحقيق الكثير من خلال التركيـز على كيفية استهلاك الطعام. لا يحتـاج الكثير من الأشخاص إلى عدد السعرات الحرارية التي يستهلكونها يوميا. العالم في الغرب، من دون شـك، يستهلكون الكثير، ويرمون الكثير أيضا، لذلك، يشكل تغيير أنماط الأكل لدينا طريقة مهمة لتحسين استعمال الإنتاج الزراعي. بحسب تقدير وزارة الزراعة في الولايات المتحـدة الأميركية ومنظمة الأغذية والزراع، يرمـي الأميركيون ما يقارب 30 إلى 40 في المائة من طعامهم. ويتكوّن ثلثا مـا يرميه الأميركيون من الفاكهة والخضـار والحليب ومنتجات الحبوب، والسكر. ويعد الأمر شائعا في أوروبا أيضا[1].

يهدر الغذاء في المحلات والمطاعم والمنازل. كما يشكل تناول الطعام في الخـارج السبب الرئيسي لزيادة استهلاك السعرات الحرارية. في الولايات المتحـدة، واحدة مـن وجبتين تؤكل خـارج المنزل، وواحـدة من ثلاث تـؤكل في السيارة. يفسد معظـم الأكل السريع بسرعة، ممـا يزيد احتمال

(1) The whole food chain is described in Smil، V. (2000). Feeding the world. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press.

رمي فضلاته. وترتفع نسبة شراء المأكولات الجاهزة في جميع أنحاء العالم، وليس فقط أميركا. تتزايد نسبة سكان العالم الذين يعيشون في المدن، مما يعني أن المزيد من الناس سوف تعتمد على المواد الغذائية المعدة. إذ، في المدن، يقل عدد الأشخاص الذين يتناولون الطعام في المنزل.

التحدي سيكون في المحافظة على النسبة الصحية لاستهلاك السعرات الحرارية، فيما نتأكد من تخفيف الهدر. وقد يساعدنا تخفيف قابلية الطعام للفساد في هذا الاتجاه. ويمك للأمر أن يحمل تأثيرا مماثلا على الإمدادات الغذائية في العالم وتحسين الري أو زيادة مرونة الإنتاج. في النهاية، ترتبط في الغالب المشاكل التي نواجهها من حيث توفير الغذاء والماء.بموقف خاطئ بدلا من الزيادة السكانية.

2 - مياه مدى الحياة

لا يحصل أكثر من بليون شخص على إمدادات المياه الصالحة للشرب، كما يفتقر ثلث سكان العالم إلى مرافق الصرف الصحي الأساسية. بالنتيجة، يعاني أكثر من 2 بليون من البشر من حالات العدوى التي تؤدي إلى الإسهال وغيره من الأمراض[1]. ويشكل تحسين هذا الأمر تحديا كبيرا. لنأخذ الصرف الصحي مثلا: ماذا لو استطعنا تأمين التسهيلات للأشخاص

(1) A good introduction to the field is: Sanitation and access to clean water، in Lomborg، B. (2004). Global crises، global solutions. Cambridge، UK: Cambridge University Press; or more recently، Rijsberman، F. (2008). Every last drop: Managing our way out of the water crisis. Boston Review (September/ October); see http://vermeer.net/cae

على مدى عشرين عاما مقبلا؟

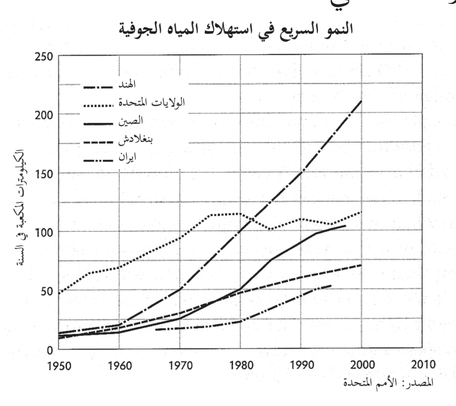
سوف يكون عليك أن تربطهم بنظام الصرف الصحي بمعدل نصف مليون نسمة في اليوم الواحد. نحن نعرف كيفية تثبيت المراحيض الفردية وأنابيب الصرف الصحي، ولكن مشروع على هذا النطاق الواسع يتجاوز قدراتنا بكثير. لن يلزم الأمر تكنولوجيا جديدة فحسب، إنما مبلغا هائلا من المال وإرادة سياسية أيضا.

التحدي لتزويد مياه نظيفة لكل البشرية تحدٍ مماثل بضخامته. إنها ليست مسألة نقص في الاحتياج. هناك ما يكفي من المياه حتى لو استمر عدد السكان في التزايد، بحسب الأمم المتحدة، يحتاج المرء إلى 20 لترا من المياه الصالحة للشرب لعيش حياة صحية. كل عام، يسقط 100000 كيلومتر مكعب من الأمطار على الأرض، أي ما يعادل الأربعين لترا للشخص الواحد. وسيكون الأمر أكثر من كافٍ إن قمنا بتطبيق معادلة في غاية البساطة. يوجد ما يكفي من المياه حتى على أشد بقاع الأرض جفافا. المشكلة تكمن في النوعية: الناس لا تموت من العطش، إنما من نوعية المياه غير الصالحة أو الكافية.

استعمال المياه للري قصة مختلفة. حوالي 17 % من استعمال الأشخاص للمياه هي للزراعة، وقلما يدرك الناس كم تحتاج الزراعة إلى المياه. على سبيل المثال، نحتاج إلى 100 لتر من المياه لزراعة قمح ينتج بدوره ما يعادل كيلوغرام واحد من الدقيق. ويمكن لمنتجات أخرى أن تستهلك كمية أكبر من المياه. يحتاج إنتاج كلغ من البن إلى 20000 لتر من المياه، ولتر الحليب إلى 300 لتر من المياه، تذهب بمعظمها لعلف الماشية والعشب المستهلك من البقرة.

تحتاج ما يعادل 35000 لترا من المياه لإنتاج كل كيلوغرام من حبوب لحوم البقر للتغذية. حميتنا الغربية الحالية تعني أننا نستهلك حوالي 6000 لتر من المياه الزراعية يوميا– وتذهب منها نسبة كبيرة إلى زراعة الأعلاف الحيوانية. الهندي العادي يحتاج إلى 3000 لتر من المياه يوميا، بسبب ارتفاع نسبة النباتيين في المنطقة.

مبدئياً، بسبب الكمية الضخمة من الأمطار المتساقطة، تبقى هذه الأرقام مستدامة. المشكلة أن كمية تساقط الأمطار في أنحاء العالم ليست متساوية. ربع كمية الأمطار تتساقط في كندا، بينما يمكن ألا تتساقط نقطة واحدة من المطر في أماكن أخرى. معظمها تتساقط خلال أسابيع الرياح الموسمية، ثم تطوف بعدها تماما. المشكلة في الزراعة إذا تكمن في النقص المناطقي. لذلك، يوجد مسألتان مختلفتان في ما يختص بالمياه. المشكلة المختصة بالزراعة هي في كيفية تخزين المياه ومشاركة المصادر النادرة، أما بالنسبة لمياه الشرب، فالمسألة متعلقة بكيفية الحصول عليها بأسعار معقولة وخدمات الصرف الصحي.



العجز

نستطيع أن نشعر النقص في مياه الري. بحسب الأمم المتحدة، عانت دول صغيرة فقط، كالبحرين ومالطا، من نقص جدي في المياه عام 1950. أما الآن فاللائحة تضم حوالي عشرين دولة كبرى، منها كينيا ونيجيريا. النقص في مخزون المياه يسبب صعوبة في زراعة المزيد من الغذاء. وتسبب ندرة المياه أيضا تدهورا بيئيا خطيرا. ويمكن مشاهدة هذا الأمر عن كثب في الهند حيث تضخ المياه الجوفية على نطاق واسع، العملية التي تشجعها الكهرباء المدعومة والفرص الوفيرة لسحب الطاقة بصورة غير شرعية. تضاف ملايين المضخات سنوياً، ويحفر ملايين المزارعين آبارا جديدة لري حقولهم مرة أو مرتين أسبوعيا. يستعمل حوالي ثلثي الهنديين المضخات لري مزروعاتهم، وهذا ما أتاح للدولة مواكبة زيادة عدد السكان، وبالتالي تجنب كارثة كبيرة. ولكن، رغم أن المختصين يرون في ضخ المياه مصدرا متجددا، فإن استخراجها يتم بطريقة أسرع من إمكانية إعادة ضخها. وبذلك تجد الهند نفسها في سباق لتخزين أكبر قدر ممكن من المياه وإعادة ضخها. في العديد من الأماكن، يتراجع معدل المياه بعشرة أمتار سنويا. يجب على الناس أن يحفروا مئات الأمتار قبل أن يتمكنوا من الوصول إلى المياه، ويوما بعد يوم، تبدأ الآبار بالجفاف. في غضون جيل واحد، سيزول كل شيء. يتم نضب المياه الجوفية في أنحاء أخرى من العالم أيضا، وبدأت المشاكل بالامتداد إلى البيرو والمكسيك والولايات المتحدة أيضا.

الأنهار في طور الجفاف كذلك. لم تعد العديد من الأنهار تصل إلى

المحيـط في أماكن مختلفة. تشتهر في الأيـبرو في إسبانيا، على سبيل المثال، حقول الأرز التـي تزدهر في الدلتا. ولكن المزارعـين يستخرجون الكثير مـن المياه إلى درجة أن الدلتا أخذت في التملح. وقد جف نهر المورواي في أستراليـا بسبـب فائض استهلاك مزارعي القطـن والأرز، إلى درجة تهدد حاجة أديلايد إلى المياه. هذا ولم تعد أنهار أساسية في العالم، كالنهر الأصفر والكولـورادو يصلـون إلى المحيط، إضافـة إلى خسارة الميـاه من الأنهار الأخرى[1].

تحسين الري

سـوف يتفاقم النقص في الميـاه، كلما طبق الري لزراعـة لتخزين كمية مـن المحاصيل أكبر من أي وقت مضـى. فيبقى الري بذلك مسألة أساسية في أي تكنولوجيا تصمـم لتحسين حقول الزراعة. يتم ري حوالي سدس المساحة المزروعـة في العلم، وتزودنا هذه الأراضـي بأربعين في المائة من الغذاء[2]. بالنتيجة، أي إضافة في الزرع تعكس زيادة في استهلاك المياه.

(لدينا تكنولوجيا تمكننا من جعل عملية الري أكثر فعالية)، يقول فرانك ريجزبرمان، مدير أحد البرامج الإنسانية في غوغل. كمدير سابق للمعهد الـدولي لإدارة الميـاه، منظمـة أبحاث رائـدة في سيريلانـكا، تعود خبرة

(1) Dai، A.، Qian، T.، Trenberth، K. E.، and Milliman، J. D. (2009). Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. Journal of Climate، 22، 2773–2792.

(2) Smil، V. (2000). Feeding the world: A challenge for the twenty-first century. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press

ريجزبرمان إلى تاريخ طويـل. نتحدث معه عبر فيديو أطلسي يمحو مئات آلاف الكيلومـترات التي تفصل بيننا، فيبدو الأمـر كأننا نجلس ونتحدث متجاورين على نفس الكنبة الحمراء المسندة إلى الحائط.

(يميـل خبراء الإدارة بالتفكـير بما يختص بإمدادات الميـاه. عندما يرتفع الطلب، يحاولون إيجاد مصادر جديدة للمياه، ولكنك لا تستطيع تصنيع ميـاه جديدة. إنها تـدور في محور محدد، وكل ما تستطيـع فعله هو تحويل كميـة من هـذه المياه باتجاه الحاجـات البشرية. لذلك يجـب التركيز على الطلـب أيضا). ويمكـن لتفعيل استعمـال المياه أن يخفـض الطلب أيضا. المعدل العالمي العام لفعالية الري، على سبيل المثال هو 30 %. في المقابل، تستطيع إسرائيل أن تحث نسبة 90 %. هناك طرق أكثر فعالية من فيضانات الحقـول التـي تسبب بتبخـر المياه وجفافهـا في التربة. مـن جهة أخرى، تتضاعـف فعالية المرشات وتوزع الري بطريقة أفضل. هناك أيضا مساحة لتحسـين قنوات الري بحد ذاتها، إذ غالبا ما تكون هذه القنوات مفتوحة بشكل يسبب تبخر المياه أو ذهاب الباقي من المياه إلى الطمي.

يكمـن التحـدي بتخفيض ثمـن تكنولوجيـات الري بشـكل يجعلها متوفـرة في أكثر بقاع الأرض فقـرا. وقد تم تطوير توزيع أو (تقطير) الري عبر تكنولوجيا مبسطـة في الهند، واستعملت مبدئيا في حقول القطن في مدهيـا برادش وماهاراشترا. تستعمل هـذه الحقول ما يعرف بمجموعات بيبسي، وهـي عبارة عن خراطيم مثقوبة وضعـت في التربة لتوزيع المياه، أو حتى إن دعت الحاجة كأسمدة طبيعية. العملية بسيطة ولكنها تضاعف نتيجة استعمال المياه.

(ما زال هناك مناورات كثيرة لتخفيض استهلاك المياه في حال استعمال تكنولوجيات مماثلــة. الأمر أشبه بحفظ الطاقة، وعليك أن تقنع الناس به. تبــادل المعلومات أمر ضــروري)، يقول ريجزبرمان. تعتمــد فعالية إدارة المياه على دعم الجماعات المحلية أو السكان. في الهند، تولّت المجتمعات الريفيــة تقريبا إدارة عمليات الري. ولكــن، توقفت حاليا العديد من هذه الجماعات من التصرف بشكل جيد، الأمر الذي انعكس على الري أيضا. وقــد انطلقــت المبــادرات الفردية في الهنــد لتشجيع تخزين ميــاه الرياح الموسميــة. يحفر سكان القرى القنوات، الخزانــات والصهاريج لمنع هدر مياه الأمطار. تخزين المياه يستطيع أن يوفر موارد مستدامة للري. (ولكن إمكانية التطور ما زالت قائمة)، يقول ريجزبرمان.

المساحــة المزروعة من الأرض تكون مرويــة بنسبة 100 %. عندما نبني نظامــاً للري، نتصرف كأن الأمطار توقفت عن التساقط. هذا هو بالتأكيد الحــل الأسهل: كل ما عليك فعله هو فتــح الصمامات مرة أخرى. هذا ما تعلمته أثنــاء الدراسة، وفي الجامعة كذلك، عندما كنت أدرس تكنولوجيا الــري. لا يمكن الاستغناء عــن الأمطار كالمصدر الرئيســي للمياه، ولكننا بالطبــع لن نكون حكماء إن اعتمدنا عليهــا كمصدر وحيد للمياه. تمتص التربة حوالي 60 % من الأمطار بشكل مباشر، وبالتالي تستعملها النباتات. وقــد يبدو من السخافة تجاهل أمر كهذا. مرات قليلة فقط، تحتاج إلى نظام تكميلــي للري، شرط أن تختــار التوقيت المناسب لفعــل ذلك. ولكننا لا نعــرف بعــد كيفية ضبط نظام كهذا بدقة تامــة. لم تتم الكثير من الأبحاث في هذا المجال. للسيطرة المفصلة، تحتاج إلى تدقيق حول الترسيب وحول

توقعات الطقس.

في الوقت الحــالي، ما زال توقع الطقس في مناطق عدة فقيراً. في إثيوبيا مثلا، هناك حوالي 1600 محطة للمياه، و160 منها فقط تطلق حساباتها عبر الإنترنــت. معظمها ما زال يستلزم حــوالي الشهرين بعد هذه المدة تقريبا، تكون معظم النباتات قد ماتت.

لمواجهــة هذه المشــاكل، تدعم غوغــل.أورغ برنامجا مــع الأمم المتحدة للإســكان، وشركاء آخرين، برنامجا لجمع معلومــات مفصلة عن الطقس، المياه والنظافة.

(لا يستطيع سكان المناطق أو القرى البعيدة قراءة نصوص أو إيميلات عن الــذات الخاصة بهم)، يشرح ريجزبرمان. (هذا ما يسمح للمعلومات بأن تتناقــل خارج الإطار الرسمي. هدفنــا الحالي هو الحصول على إحصاءات دقيقــة، ولكن يمكن توسيع المفهوم. يمكن مثــلا للمزارعين الذين يرسلون مشاهداتهــم عــن الطقس أن يحصلــوا على النصيحــة في المقابل. ويمكن حينهــا استعمال هذه المعلومات في نظام الــري. يمكن أيضا أن نطلب من الأشخاصــ أن يرسلوا تقاريــر عن المرض. يمكنك استعمــال الشبكة عبر الهاتف أن تكون جزءا من برنامج للمراقبة، الأمر الذي يعتبر طريقة جديدة ومختلفة كليــا للتعامل مع مشاكل مثل هذه). هذا إضافة إلى الدور المتنامي لشبكات التواصل، إذ إنها تمكن المعنيين من مشاركة الطموح والمعرفة.

يوجــد فكرة واعدة أخرى وهي ربط الري.بمياه المجاري. (تتضمن مياه الصرف سماد وروث ومواد أخــرى للنمو)، يؤكد ريجزبرمان. (إن كان للمزارعين أن يختاروا بين المياه العذبة ومياه الصرف للري، لاختاروا الثانية

بالتأكيد، إذ إن مياه الصرف متوافرة حتى عندما تنقطع أنظمة الري).

المزارعـون مستعدون حتى لدفع النقود مقابـل مياه الصرف وهذا يحل العديـد من المشـاكل، إذ لا أحد يستطيع دفع ثمن ميـاه نظيفة للري. لذا، قـد يبدو أمرا مناسبـا أن يتولى المزارعون هذا الأمـر. وبالتأكيد، يجب أن يأخـذوا الاحتياطات المناسبـة فيما يتعلق بمياه الصـرف. ولكن في معظم الحـالات، ارتداء الحذاء هو كل ما يلزم للحماية من أي التهاب. والمشكلة الحقيقـة تكمن في التنظيـم، إذ يجب أن يكون هنـاك تواصل مستمر بين مختلف الفقراء المعنيين.

الأواني المستطرقة

يبـدو واضحـا من المثل الأخـير أن الأمور المتعلقة بتأمـين مياه الشرب، النظافـة والميـاه الزراعية مترابطـة بشكل متقارب. هـذه الصلات هي ما يعرف حرفيا بالأواني المستطرقة.

غالبـا ما يقود حـل مشكلة النظافة مثـلا إلى تأمين مياه آمنـة، تماما كما يعرض المدن تحويل الكثـير من المياه إلى الري إلى نقص في مياه الشرب. لذلـك، يبدو منطقيـا تنظيم تحسين تزويـد المياه على نطـاق صغير داخل الشبكـة. وما زال واضحا أن الصلات على نطاق حي كبير أو مزرعة بين مختلف أنواع المياه مترابطة عن كثب.

(كانت تنقية الميـاه تقليديا مهمة للحكومـة، وكان بالإمكان القيام بها علـى النباتـات الكبيرة فحسب، ولكـن الأمر يتغـير الآن)، يقول فرانك ريجزبرمان.

أصبح هناك اختراقات مثيرة من تكنولوجيا التطهير، الأمر الذي يعني إمكانية تطبيقها على النباتات الصغيرة. وهذا ما شجع وجود فئة جديدة من وسائل معالجة المياه. هذه الأدوات تعقم المياه غالبا عبر استعمال الأشعة فوق البنفسجية للقضاء على الجراثيم. يمكنها أن تكون صغيرة جدا ويمكن طلب شرائها عبر الإنترنت مقابل بضعة آلاف دولار.

وبدأت هذه الوحدات الصغيرة بالظهور في أماكن لم يكن لديها مياه نظيفة. بدأت صناعة جديدة بالظهور حولها. وبدأت آلاف المحلات الصغيرة بتصنيعها واستعمالها في مدن صغيرة في الفلبين وإندونيسيا، لم تتصل مسبقا بأي شبكات مياه. الأمر أفضل بكثير من إرسال وحدات كبيرة إلى مدن ظهرت فيها حاجة مباغتة للمياه، لأنك حين تكون قد وزعت المياه، غالبا ما لا تعود صالحة للشرب. وتحل الآلات الصغيرة هذه المشكلة.

(بدأت تكنولوجيا الغشاء بالتقدم بسرعة، الأمر الذي سبّب انخفاض أسعارها. ومن المرجح أن تقود التكنولوجيا النانوية إلى أسعار أقل ووسائل أفضل لتعقيم المياه. تتيح تلك الجزئيات النانوية إزالة بعض الملوثات نوعيا. ويمكن لها أيضا أن تقود لتخفيف استعمال الطاقة).

الأمر الذي يشبه نموذج التطور الذي نشهده في أماكن أخرى من الصناعة. تتطور النباتات الكيميائية، على سبيل المثال، إلى وحدات توزيع صناعية صغيرة.

آليات تعقيم المياه تطور تكنولوجي آخر لتحلية المياه، الوسيلة التي تستعمل بشكل دوري لتصنيع مياه الشرب في الفنادق ومدن مثل

سنغافورة. تستعمل نفس الغشاءات للتناضح العكسي. ما زالت تحلية المياه مرتفعة الثمـن للاستعمال الزراعي، ولكن عندما ينخفض ثمنها، سيصبح أكـثر جاذبية للمزارعين أيضا، شـرط أن يرفقوها بتقنيات ري أكثر فعالية. قد يكون هذا الأمر مثيرا جدا، كما قد يساهم في حل العديد من المشاكل.

يحرر هذا التطور الزراعة من الاعتماد على الأمطار وفيضانات الأنهار والآبـار، إذ يشكل نقـر المياه من أماكـن خارج دورتها المعتـادة مصدرا جديدا وموثوقا به.

المحاصيـل الجديـدة تخفف عطش الزراعة للمياه. سـنرى في الفصل المقبـل كيف يمكن تربيـة أنواع جديدة مـن الأرز، بحاجـة إلى كمية أقل مـن المياه وأكثر مقاومـة للجفاف. ويبدو فرانك ريجزبرمـان مقتنعا بأننا سنشهد تطورات من هذا النوع.

(قد تتمكن وسائل تعشيب وطـرق زراعية جديدة من تخفيض الحاجة إلى الميـاه من 2000 لتر إلى 500 لكيلوغـرام الأرز الواحد. تقليديا، لم تكن النباتـات تستجيب لهذا النوع من التغيـير في الاستهلاك لأنه كان صعبا. تربـى الأصنـاف التي كانـت تبدو أقـرب لسمة واحدة، مثـل الحساسية لبعض الأوبئة. ولكن مقاومة الجفـاف تعتمد على سمات مختلفة سيكون عليك معالجتها معا. وقـد وفرت التكنولوجيا الحيوية الآن وسيلة لتحديد السمـات المرغوبة أكـثر دقة. نحن نعرف الآن جينـوم الأرز بأكملها، مما يعني أن تحسي السمات الأكثر تعقيدا بات ممكنا).

هنـاك مجموعة واسعة من التقنيـات المتاحة التي يمكنهـا بالتالي أن تقلل مـن الضغـط على شبـكات الميـاه. وهناك حاجـة ماسة لهـذه التقنيات،

إذ من المرجح أن يضيف تغيير المناخ الإجهاد. (التكيف مع تغير المناخ سيتعلق بالمياه)، يقول ريجزبرمان، مضيفاً (ليس لأنه سيصبح أكثر دفئا ولكن تغير المناخ سيؤدي إلى جعل الأحداث أكثر خطورة، مثل الجفاف والفيضانات. سيكون هناك تقلبات كثيرة، والخبر السار هو أننا لسنا في حاجة لتطوير أساليب جديدة، يمكن أن نعالج هذه المسائل باستخدام التقنيات التي أشرت إليها توا. لذا سيكون مهماً جدا أن نحقق فهما كاملا لنظام الطقس).

(سيكون علينا أن نتواصل بشكل أفضل مع الأشخاص الذين يستعملون الإنترنت والهواتف الخليوية لرصد التغيرات. وهذا سيساعدنا لتقديم تقنيات زراعية جديدة، كالري، وأخذ قرارات أفضل فيما يختص بالمحاصيل).

ويلفت ريجزبرمان أن تخطي الشذوذات في إمدادات المياه سيساهم في تحسين تخزينها. (هنا في الولايات المتحدة، لدينا خزانات تسع ما يقارب 5000 متر مكعب من المياه للشخص الواحد. في إثيوبيا، المعدل أقل من 50 متر مكعب. حتى اليوم، لا يوجد ما يكفي لضمان إمدادات مستمرة من المياه. وليس من المرجح أن نتخطى المشكلة في إفريقيا إن لم نأتِ بسدود جديدة). يتم فحص إيجابيات وسلبيات بناء السد في سياق إمدادات الطاقة، مما يدل على أن السدود لا تسفر دائما عن فائدة بيئية صافية. ويعتقد ريجزبرمان أنه لا يزال هناك فرص سليمة بيئيا لبناء سدود جديدة، خاصة في إفريقيا.

إنها النقطة الوحيدة في نقاشنا التي يقترح فيها حلا على نطاق واسع. كتلميذ حركة التكنولوجيا الملائمة، إنه مؤمن بالمقاربات على نطاق ضيق

والتي هي قريبة فعلا من حاجات الناس ولا تتطلب تدخلا حكوميا.

(ولكن مشاريع السدود الضيقة النطاق غالبا ما تصطدم بعقبات لسوء الإدارة والاستعمال الفقير للتكنولوجيا. عندها، يمكن للخزانات السطحية أن تسبب أمراضا معدية. ليس من السهل إدارة سد، ويجب أخذ الحجم بعين الاعتبار. في الوقت نفسه، تسبب السدود الكبيرة خطراً للفساد والاستغلال. للتعامل مع هذا الأمر، تتطلب الإدارة الجيدة أن يكون لديك ميزانيات مفتوحة، وأن تكون شفافا في العقود والتسعير، وتتأكد من أن الذين يستعملون المياه معنيون عن كثب بمشاريع من هذا النوع)[1].

في حقول أخرى من إدارة المياه، تسهّل التكنولوجيا اللامركزية إيصال المياه النظيفة إلى المجتمعات. رغم أن الحكومات تستثمر في مشاريع على نطاق واسع كالسدود، هناك الكثير لربحه عبر استخدام تكنولوجيات على نطاق ضيّق واستهلاك أقل. نحن بحاجة إلى التكنولوجيات المنخفضة التي ذكرها ريجزبرمان، كنباتات العلاج المتوفرة عبر الإنترنت، والقادرة على الوصول إلى الأماكن البعيدة والأحياء الفقيرة.

في الوقت الحالي، سوف نوقف أنهارنا عن الجفاف والتملح والتلوث. سيتيح هذا الأمر تخفيف الخلافات حول توزيع المياه، وسيضمن حياة صحية لمئات الملايين من الأشخاص حول العالم، الذين يفتقدون حاليا إمكانية الوصول إلى مياه نظيفة.

---

(1) Rijsberman، F. R. (2008). Water for food: Corruption in irrigation systems، in Global corruption report 2008. Cambridge، UK: Cambridge University Press.

3 - الطعام للجميع

هل نستطيع أن نطعم العالم؟ رغم أن معدل الزيادة في انخفاض، تستمر الكثافة السكانية في الارتفاع بشكل متضاعف عن عام 1960. لحسن الحظ، ازدادت كمية الطعام بشكل أسرع. ازداد المعدل العام للشخص الواحد عام 2010 بنسبة 25 % عن عام 1960 رغم الزيادة الهائلة في الكثافة السكانية. ورغم أن هذه هي الصورة العامة، انخفضت نسبة الأشخاص الذين يحصلون على تغذية جيدة. لقد أدّى التوسيع والتكثيف إلى تحسين مصائرنا، ولكننا وصلنا إلى نقطة لم يعد يمكن فيها تحويل الطبيعة إلى أراضي زراعية أكثر من ذلك من دون آثار سلبية خطيرة على غيرها من الخدمات البيئية الحيوية مثل مستجمعات المياه، مصادرة الكربون والحفاظ على التنوع البيولوجي. يستعمل العالم ربع مسافته الخالية من الثلوج للزراعة. لذا، كيف نستطيع زيادة إنتاج الطعام لملايين الأشخاص الذين ما زالوا يعانون من سوء التغذية، خاصة في إفريقيا[1]؟

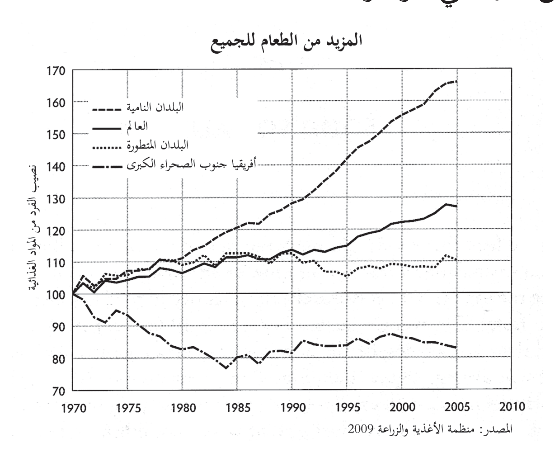
يتوقع المتشائمون عادة كوارث في نقص الطعام. يمكن اقتفاء أثر شبح المجاعة في أفكار القسيس البروتستانتي توماس مالتوس، الذي كان مرتبكاً بشأن الانفجار السكاني الذي شهدته نهاية القرن الثامن عشر. كان للزوجين النموذجيين في ذاك الحين حوالي أربعة أولاد وستة عشر

---

(1) A good introduction to the field is Smil، V. (2000). Feeding the world. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press. See also Kiers، E. T.، Leakey، R. R. B.، Izac، A. M.، Heinemann، J. A.، Rosenthal، E.، et al. (2008). Agriculture at a crossroads. Science، 320(5874)، 320

حفيدا، الأمر الذي يعكس زيادة هائلة في الكثافة السكانية. توقع مالتوس نقصا في الطعام، كما أنه لم يؤمن بأن الزراعة ستزدهر بسرعة كافية تمكنها من إطعام الجميع.

النمو الخطي للمنطقة الزراعية - وبالتالي صناعة الطعام - كان أفضل ما آمله. كان لا بد من مخرج ما، وبدا مالتوس مقتنعاً بأن الإنسانية ستعاني من الطاعون والأوبئة وحرب الإبادة. بعد ذلك، تعيد المجاعة على نطاق أوسع ترتيب التوازن بين مستوى السكان وإمدادات الطعام. رغم ذلك، لم تحدث الكارثة التي توقعها الرجل. يعزى هذا التقدم جزئيا إلى فتح الأراضي الزراعية الجديدة. وقد نما بشكل بطيء لدرجة أن هذا العامل وحده لم يكن كافيا لإطعام عدد السكان المتزايد. إن كانت زيادة الأراضي الزراعية الحل الوحيد لرفع إنتاج الطعام، كان بالإمكان إثبات نظرية مالتوس. لحسن الحظ، قامت تقنيات الزراعة بزيادة الإنتاج على نحو مستدام من الأراضي الموجودة.



إضافة النيتروجين

كان تطوير الأسمدة الاصطناعية خطوة مهمة، إذ إنها تضيف معادن أساسية كالنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم إلى الأراضي الزراعية، العملية التي تتم على نطاق عملي رائع. لإنتاج الأسمدة، تستخرج البشرية الآن النيتروجين من الهواء أكثر مما تفعل الطبيعة. عبر فعل ذلك على نطاق واسع، نكون قد سيطرنا على دورة النيتروجين في الكوكب، الأمر الذي يعني للمرة الأولى في تاريخ الأرض، إننا أصبحنا للمرة الأولى في تاريخ الأرض العامل المسيطر على الدورة الطبيعية لعنصر كيميائي أساسي. بات البشر يثبتون النيتروجين بشكل أسرع منذ عام 1980.

لم تتغير العملية التي نستعملها من أجل إنتاج النيتروجين مبدئيا منذ مطلع القرن العشرين. ما زلنا نصنع الأسمدة على قوة ضغط تتراوح بين 150 و250 غلاف جوي، وحرارة بين 300 و550 درجة سنتغراد، إضافة إلى استعمال كمية محددة من الطاقة. يذهب حوالي 2 % من نسبة استهلاك العالم للطاقة إلى تصنيع الأسمدة.

على نقيض ذلك، يمكن لإنزيم النيتروجين تحقيق النتيجة نفسها في درجات الحرارة المحيطة. تستعمل العديد من البكتيريا هذا الإنزيم (الخميرة) وتثبت بذاك النيتروجين في التربة. يأتي النيتروجين الموجود طبيعيا في التربة من بكتيريا الريبوزيوم أو جراثيم الريبوزيوم المتجذرة. وسيكون إنجازا عظيما إن استطعنا تقليدها وإنتاج الأسمدة في شروط أفضل.

تتساوى تقنيات أخرى في الأهمية لتجنب كارثة مالتوس. لقد ضاعف الري مرتين وحتى ثلاث مرات الصناعة الزراعية، كذلك فعلت المكننة

مـن جديد. عززت المبيدات والأصناف المحسنـة المزيد من الإنتاج، وقد تستمـر الأصناف المعدلة وراثيا في هذا النمط. في كثير من المناطق، ولكن ليس في كل مكان، تجاوزت هذه التقنيات الحدود. يشعر الري بندرة المياه وزيـادة المنافسة من المصانـع والمنازل. بلغت المبيـدات الحشرية حدودها أيضا.

مـن المهـم أيضا لفت النظـر إلى تغير وتـيرة هذه الثـورات الناجحة في الزراعـة أيضـا. يعود الـري تقريبا إلى حين بـدأ الإنسـان بتسوية وزرع المحاصيـل. ولكـن في أواخر الخمسينيـات، مقارنة بزمننـا الحالي الذي بلغـت نسبة الري فيه 20 %، كان الري يصل فقط نسبة 3 % من المساحة المزروعة. ظهرت الآلات كالتركتورات والحصادات المجتمعة في حقولنا ببطء، متيحة زيادة الإنتاج من دون ارتفاع العمالة، رغم أنه ما زال يوجد حتـى زمننا الحالي في الاتحـاد الأوروبي مساحات زراعيـة لا تعتمد على الآلات. في الوقت نفسه، كانـت الأسمدة الاصطناعية ممكنة منذ تصنيع النيتروجين للمرة الأولى في ألمانيا في عام 1913. ولكن استخدامها لم يقلع حتـى الخمسينيات. حالياً، رغم أن وتيرة التجديد تتقدم، أدخل التعشيب الجديد منهجيا في النصف الثاني من القرن الأخير، ولم يصبح تطبيق العلوم البيولوجية، بما في ذلك التعديل الوراثي، ممكنا حتى الثمانينيات.

دورة التجديد

كل ثـورة جديـدة أسرع من التي قبلهـا، لأنها تبنى علـى التي تسبقها. التوسـع في النطـاق الـذي أتاحتـه المكننـة الزراعية خلق حاجـة جديدة

إلى المبيـدات، كما تحتـاج أدوات التعشيـب المحسنة إلى الكثـير من الماء والمغذيات فلا تستطيع النمو من دون الأسمدة والري. يرتفع أيضا التعقيد والترابط للمنظمات المعنية مع تعاقـب الثورات. ويعتبر تطوير الري مثالا على ذلك. في منطقة النيل القديم، وحوض دجلة والفرات، ساهم ارتفاع مستوى التنظيم من أجل السيطرة على المياه في جعلها أوائل الدول القوية إقليميا. وبالمثل، يتم تنسيق إدخال الأسمدة الاصطناعية على نطاق عالمي. تنتج مثلاً إفريقيا أسمدة أقل مما تستورد. تضيق الشبكة العالمية أيضا عندما يخص الأمر استعمـال التعشيب. يجب شراء البذور الهجينة التي لا يمكن إنتاجها على الحيازات الصغيرة وغالبا ما تنطوي على عقود إنتاج معقدة. ومع المحاصيل المعدلة وراثيا، ما زالت الشبكة أضيق.

وبالتالي، فإن كل تقنية جديدة تزيد من مستوى الارتباط العالمي المتبادل. هـذا وقد كثّف التقدم في العلوم الزراعية الشبكة الغذائية في جميع أنحاء العـالم تدريجيا. تجعل الصـلات الناتجة تقديم الغذاء العالميـة أكثر حساسية للتقلبـات في الأسعـار وإمدادات المدخـلات الرئيسيـة. عندما ارتفعت أسعـار الطاقة في عام 2007، ازدادت أيضا تكلفة الأسمدة والنقل، إضافة إلى تكلفـة إنتاج الغذاء. وبالمثل، نظرا للترابط، لا يمكن للمزارعين تكثيف إنتاج الأغذية لحظة الكشف عن زيادة في الطلب، إذ إن الأمر يتخطى نمو موسم كامل، ويتطلب أيضا تغييرات في أنظمة إدخال التوريد المعقدة.

الأمـر الـذي يعنـي أن هنـاك نسبـة ضئيلة مـن المرونة داخـل الشبكة لاستيعاب التقلبات، خاصةً حين يكون هناك احتياطيات غذائية محدودة. وبالتـالي، كانت هناك زيادة حادة في أسعار المواد الغذائية في جميع أنحاء

العالم في عــام 2007. كلما كان وجودك أكثر تكاملا داخل الشبكة، كلما كنــت أكثر عرضــة لمثل هذه الآثار. ربمــا كانت محمية المزارعــين الأفارقة لزراعــة الأرز والخضار لعائلاتهم إلى حد محصنة ضــد الاضطرابات التي تجتــاح أسعار المواد الغذائية في جميــع أنحاء العالم. ولكن المزارعين الأكبر لم يكونــوا كذلك. عندما يتعلق الأمر بزيادة الإنتاج الغذائي، فمن المهم أن نأخــذ في عــين الاعتبار هذا الترابط. هل ينبغــي أن نواصل إدماج الإنتاج الغذائي العالمي بطريقة أكثر إحكاماً من أي وقت مضى بوجود تكنولوجيا أكثر تعقيداً؟

وقد مالت أيضا كل تقنية جديدة لصالح زيادة في حجم الإنتاج. لذلك، سجلــت الزراعة نموا مطردا في الحجم طــوال القرن الماضي. وقد طوّرت نباتــات معالجة كبــيرة لأنها ينبغي أن تكون أرخص وأكثر كفاءة. وهناك حجــة مماثلة تنطبق علــى المزارعين، ولكن على نطــاق متزايد في الزراعة حيــث يصعــب تصاعديّا ضبــط وتقديم الرعايــة والاهتمام التــي يوفرها أصحاب الحيازات الصغيرة.

توفــر التقاليــد الإفريقية الجمع بين محاصيل مختلفــة في حقل واحد يوفر الأمن الغذائي في مواسم غير متوقعة. هذا غير ممكن في الأنظمة على نطاق واسع التــي تحبذ زراعة المحصول الواحــد. إذا كان كل من حولك يزرع القهــوة، لا يمكنك الانتقال فجــأة إلى عباد الشمس للهروب من الفقر. لا تستطيــع المئات من الكيلوغرامات من عبــاد الشمس الحفاظ على تشغيل مصنع محلي. فعندما يعلق المزارع في نظام واحد، يصعب للغاية عليه القيام بــأي شــيء آخر. يمكن أن يستغــرق الأمر أحيانا جيلا كامــلا للتحول إلى

محاصيل مختلفة.

وعلاوة على ذلــك، لا تساند دوماً الإحصاءات هذا الاعتقاد. البيانات التــي تنتجها شركة يونيليفر الغذائية المصنعة تشــير إلى أن المصانع الصغيرة يمكــن أن تكون كل فعالة قدر الكبيرة. ويمكن للشركة ألا تجد أي صلة بين الحجــم والتكاليف. في كثير من الحالات، من الممكــن نظريا زيادة فعالية الإنتاج إذا قمت بزيادة النطاق الخاص بك، ولكن تواجه المنشآت الكبيرة صعوبــة كبيرة عندما يتعلــق الأمر بتحسين عملياتها. يمكــن لمصنع صغير التكيّــف بسرعة أكبر، ويمكنــه أيضا القضاء على المنتجــات غير الضرورية بسهولة أكبر.

وفرة إفريقيا

وكانــت تلك الاعتبــارات لدينا عندما ناقشنا هــذا الموضوع مع مونتي جونــز، وهــو عالم زراعــي من سيراليــون، ويشغــل حاليا منصــب المدير التنفيــذي لمنتدى البحوث الزراعية في إفريقيــا. اعتبرته صحيفة التايم عام 2007 كواحــد من أكثر الأشخاصــ تأثيرا في العالم عن دوره في السعي إلى إفريقيا خالية من قبضة المجاعة.

(إفريقيــا لديها القــدرة على إطعام بقية العالم)، كمــا يقول. (في الواقع، يجــب على إفريقيا إطعام العــالم.) التقينا على الغــداء في حديقة فندق في لنــدن التي سافر إليهــا جونز لمناقشة الوضع الغذائــي العالمي مع البرلمانيين البريطانيين. (هذا هو الأرز البسمتي)، يقول وهو يعرض عينات الكاري. ربما في الهند الأرز رقيق. في إفريقيا أيضا، ونحن نفضل الأرز المسلوق.

ونتيجـة لعمله كمربي النبات، يعرف جونز كل شيء عن الأرز، بعد أن عبر بالصنفين الرئيسيين المستخدمين وأصناف شتى في كافة أنحاء العالم.

أوريـزا ساتيفا الآسيوية عالية الغلة بفضل فروعها الثانوية كثيرة، وكلها يمكـن أن تحمل الحبوب. أما أوريزا الإفريقية فهي هجينة وليست متفرعة، ولـذا فـإن العائد أقل من ذلك بكثـير. من ناحية أخرى، فقـد تم زراعتها لأكثر مـن 3500 سنة، وقد وضعت آليات الحماية التي تمكنها من التكيف مـع الجفاف والأمراض والآفات والحشرات، وكلهـا عقبات رئيسية في إفريقيا.

الجمـع بين سلالتـين يتطلب عملية مضنية من العبـور والاختبار وإعادة الذريـة إلى واحـدة من الأنـواع الأصلية. (معظم أنـواع التهجين تسبب العقم)، ويوضح جونز. (حـاول الكثير من الناس فعل الأمر نفسه). كان الصـبر في فريق جونـز، جنبا إلى جنب مع القدرة علـى اختبار النتائج في ظـل الظروف المحلية اللّذين جلبا نجاحـاً لم يكن من الممكن أن يتحقق في أي مكان آخر في العالم، إذ إن أحدا لم يكن مهتما تجاريا في الأصناف التي تنمو في ظل ظروف أفضل من أصحاب الحيازات الصغيرة في إفريقيا.

وقـد نجم عن ذلك (الأرز الجديد لإفريقيا) (نيريكا) مفاجأة في جعبتها: في الظـروف المعيشيـة الإفريقية، تفـوق والـداه الإفريقيان–آسيويان من خـلال ظاهرة قوة الهجين التي تدعو مربي النبات. الأرز الجديد (نيريكا) لديه الكثير من الفروع الثانوية والثالثية ونسبة من الحبوب عالية الغلة أكثر بخمسـين في المائة أكثر من الغلة في آسيا. كما أنها تنمو بشكل أسرع، مما يسمح لاثنين أو ثلاثة محاصيل في السنة.

(حتـى في الزراعة التقليدية، دون الأسمـدة أو الري، العائد هو ضعف التنـوع الإفريقي) يقول جونز. ولكن نيريـكا يحفظ الصفات المهمة التي تمكنـه من الصمود في وجه قسوة من القـارة الإفريقية. يمكنه، على سبيل المثـال، البقاء على قيد الحيـاة بدون ماء لمدة أسبوعين. كمـا أن لديه أعلى نسبـة البروتـين: (أنا أتحدث عن بقـاء الأطفال. في بعض المناطق، الناس يأكلـون الأرز ثلاث مـرات يوميا. ومع محتوى أعلى مـن البروتين، يمكن الحصـول على نظام غذائي أكثر توازنـا ببساطة من الأرز، وربما مع القليل من السمك). وتعتبر هذه وسيلة واعدة لتحسين المحاصيل أخرى.

(يجب أن نستمر في البحث. ولن يكون أبدا نقطة نستطيع أن نقول فيها «هذا يكفي». السكان الأفارقة هم الأسرع نموا في العالم والتوسع العمراني سريـع أيضا في القـارة أكثر من أي مكان آخر. هذا يعنـي أنه يجب إطعام الناس علـى هذه الأرض. لذا لا يجـب على إفريقيا بـذل كل ما بوسعها لزيـادة الغلة في وحدة المساحة. ولكن الأهم مـن ذلك الحاجة إلى تطوير المحاصيـل التي يمكن أن تصمد أمام الضغوطات الكبرى الناشئة مع تزايد حدة تغير المناخ والجفاف والفيضانات والأمراض والآفات).

يعتقـد جونز أيضا أنه من الحيوي زيادة مستوى البروتين والبيتا كاروتين والمغذيـات الدقيقة الأخرى في هذه الأصنـاف. (لا يجب أن يركز العلم فقـط على الأشياء المهمة، بل أيضا على تحسين القيمة الغذائية للمحاصيل. ينبغي أن يكون الفقراء قادرين على الحصول على غذائهم من الأرز والمواد الغذائيـة الأساسية ليكتمل نموهـم القوي والصحـي وإمكاناتهم المعرفية الكاملة، وهو ما يساعدهم لسحب أنفسهم من براثن الفقر).

الطرقات

على الرغم من أن شعبية الأرز نيريكا تنمو بشكل حاد، يعتقد مونتي جونز أنه ستكون هناك حاجة لمزيد من الاختراقات في الأرز والمحاصيل الأخرى قبل أن تستطيع إفريقيا من أن تغذي نفسها.

(جنوب السودان منطقة خصبة جدا لديها قدرة عالية لإنتاج الأغذية، ويقدّر لها أن تكون قادرة على تأمين ما يكفي من الغذاء لإفريقيا كلها. هناك بقع مماثلة في أماكن أخرى، فالقارة لديها 14 مليون هكتار من الوديان الداخلية مع وفرة من المياه في المكان، وبالتالي يمكن للمحاصيل أن تنمو المحاصيل بشكل موثوق. ولكن إفريقيا لا تستخدم في الوقت الحاضر سوى مليون هكتار من الأراضي الزراعية. لدينا التكنولوجيا، ولكن هناك حاجة إلى الكثير من الموارد الأخرى لتطوير هذه المناطق. على سبيل المثال، يمكن للمزارعين في جنوب السودان أن يكونوا على استعداد لإنتاج فائض من جون أن يتمكنوا من بيع إنتاجهم الإضافي. الطرقات سيئة للغاية بحيث لا تستطيع الحصول على الأسمدة لا يمكن للحصاد الخروج منها. من الأرخص شحن الحبوب من أستراليا إلى مومباسا (كينيا) مما هو عليه من جنوب السودان، الذي هو المكان المجاور. نحن بحاجة إلى الطرقات والأسواق والتعريفات الجمركية المخفضة. إذا كان لنا أن ننجح في هذه الأمور، فيمكننا بالفعل أن نكون سلة غذاء العالم).

إذا كان هناك إمكانية كبيرة لهذه الزراعة، هل ستكون زراعة محاصيل لإنتاج الوقود الحيوي فكرة جيدة ؟ (إنني أشعر بقوة بأن إنتاج الوقود الحيوي غالبا ما يتنافس مع إنتاج الأغذية) يقول جونز، (خاصة عند

وجـود الدعم للوقود الحيوي الذي يحفّز تحويل الموارد من إنتاج الأغذية. لا ينبغي أبدا أن يتم إنتاج الإيثانول، اذ تتخطى تكاليفه 1.5 مرة من الطاقة التـي توفرها في إنتاجه وليس لديها امتيازات أفضـل بكثير من انبعاثات غـازات الدفيئة. كمـا أن هناك علاقة وثيقـة بين تكاليـف الطاقة وإنتاج الأغذية)، يضيف جونز.

أسعار النفط تؤثـر على الإنتاج الزراعي بطرق عديدة. عندما تزداد كلفة الأسمدة والآلات ووسائل النقل، ترتفع أيضا أسعار البذور. عندما ارتفعت أسعـار المواد الغذائية بشـكل حاد في عام 2007، شكّل الأمر عبئا على كثير من المزارعين، والبعض لم يكن لديهم ما يكفي من النقود لشراء بذور جديدة، الأمر الذي تسبب بالتقليل من المساحات المزروعة. لذا، عندما تكون هناك أزمة، ينخفض الإنتاج، مما يزيد من تفاقم الأزمة ويؤثر على الجميع.

هـل يرتفع الإنتـاج إن كانت الأصنـاف المعدلة وراثيا المتاحـة لإفريقيا؟ يشعـر مونتي جونـز بالحذر إزاء الموضوع فهو يدرك جيـدا دوره السياسي في صناعـة الأغذية. بالإضافة إلى التطبيقـات التقليدية للتكنولوجيا الحيوية الهامـة، ربما يكون للمحاصيـل المعدلة وراثيا دورا مفيـدا لأن هناك بعض السمات التي لا نستطيع تحقيقها من خلال التربية التقليدية. قد تكون مهمة، على سبيل المثال، في رفع جودة الأغذية لتحسين صحة الناس. سلامة البشر والبيئـة أهمية قصوى، ولكن مـع هذا التحذير، يجـب أن نبقى مفتوحين علـى خيارات كثيرة ممكن أن تكون قادرة على الاستجابة لمطالب الغذاء في المستقبل، والأمراض والآفات، والتحديات البيئية التي لا يمكن التنبؤ بها.

ولكن ينبغي أن تطور الأصنـاف في إفريقيا نفسها بنفسها، يفكّر جونز.

ينبغي ألا يكون استخدام تقنيات التربية المتقدمة على حساب الاعتماد المتزايد من إفريقيا على المربين والمضاعفات غير الإفريقية. يجب أن تدرك جيدا أن الثورة الخضراء، مع نوعيات المحاصيل المحسنة، ومشاريع الري والأسمدة النيتروجينية الاصطناعية، لم تصل بعد إلى إفريقيا. هناك أبدا ما يكفي من الموارد المخصصة لها، وذلك جزئيا بسبب التنوع الهائل في إفريقيا. نحن نزرع الأرز والذرة والموز والدخن والذرة الرفيع، والعديد من المحاصيل الغذائية الأخرى، والتي لا يزرع بعضها (مثل الخضار الورقية الإفريقية) في مكان آخر. كما تتنوع أنظمة الإنتاج لدينا جدا من الناحية السياسية والاجتماعية والبيئية. الأمر مختلف عن آسيا، حيث يتم تكريس 90 في المائة من الأراضي الزراعية للأرز، الذي هو أيضا غذاء أساسي مهيمن. من الأسهل تركيز الموارد وتنفيذ الممارسات الزراعية المحسنة عندما يكون هناك محصول واحد مهيمن ونظام الإنتاج. ومن ثم فهي تشكل تحديا أكبر لإفريقيا لإصابة التكنولوجيات مع مراعاة التنوع المدقع في القارة.

الاكتفاء الذاتي

جونز مقتنع أن التعليم أمر بالغ الأهمية لدفع عجلة التنمية الزراعية. (تخسر إفريقيا 25000 المهنيين في السنة خضرة المراعي في أماكن أخرى. تتبرع القارة بقدرته الفكرية أساسا إلى الشمال. إذا كانت التكاليف 100000 $ للشخص الواحد للتعليم على مستوى الدراسات العليا، فهذا يعني أن إفريقيا تساهم تقريباً بحوالي 2.5 مليار دولار نحو التنمية في نصف الكرة الشمالي من دون احتساب تكلفة الفرصة البديلة من

فقــدان الاستفادة من مساهمات حياتهم المهنية. هذا كله يؤثر على هجرة الأدمغــة التعليمية والبحثية، وتطوير النظم. لا يمكنك الحصول على تعليم جيد من دون المؤهلين تأهيــلا جيدا من مدرسين ومدربين. علينا أن نبذل قصــارى جهدنا للحفــاظ على الأدمغــة إذا كنا سنستخــدم قدرتهم على الابتكار لتغذية وتوظيف قارتنا. يجب علينا، على سبيل المثال، الاستمرار في تحســين المحاصيــل الزراعية، لتكون قــادرة على مواجهــة التحديات والفرص الناشئة، وهذا الأمر الذي لا ينتهي).

هذا التنوع الكبير الــذي يتحدث عنه مونتي جونز في إفريقيا هو واحد مــن أعظــم المزايا في القــارة، خاصة ونحــن ندخل عصــر يتطلب المزيد مــن المرونة وقــد يتوجب علينا إنقاص الحجم دون فقــدان الكفاءة. الري المحسن والتعشيب والأسمدة هي بالتأكيد أصناف حاسمة لتأمين الغذاء. في جميع أنحاء العالم، استنزفت بلا شك إمكانات الثورة الخضراء.

وعلى الرغم من عدم تكرار الآثار البيئية الضارة، يجب علينا جلب منافع الثورة الخضراء إلى المجتمعــات الريفية الإفريقية من دون إغلاق الخيارات المحليــة أو تضييــق الشبكــة الدولية للتبعيــات التكنولوجيــة. على سبيل المثال، من الحيوي والملح لكل منطقــة زراعية إنتاج الأسمدة النيتروجينية الخاصة بها. طالما يجب على إفريقيا استيراد معظم الأسمدة، ستبقى القارة عاجــزة في وجه العواصف التي طالتها في الاقتصــاد الدولي. توفر أساسا وحدات الإنتــاج الصغيرة، على مقربة من المستخدمــين النهائيين، أجواءً أكــثر استقرارا للزراعة. نحن بحاجة لإعادة المرونة في إمدادات الغذاء إذا أردنا تجنب الصدمات الخطيرة.

الفصل الثاني

الأرض

1 - كوكبنا

قال المهاتما غاندي ذات مرةً: (لقد استهلكت بريطانيا نصف موارد الأرض لتحقيق ازدهارها. فكم عدد من الكواكب سيحتاج بلد مثل الهند إليه لكي يتطور؟) إذا ترجمنا تساؤله بطريقة تتناسب مع عصرنا الحالي، فمن الأرجح أنه سيكون على هذا الشكل: (ماذا لو تطلّعت الصين إلى المستويات المعيشية في الولايات المتحدة؟)

من المؤكد أن كوكبنا الأرضي يتمتع بالمرونة. وتم اجتياح حوالي ربع سطحه، وجرت تغييرات جوهرية طالت غلافه الجوي وكذلك التربة في كثير من الأماكن. تستخرج الإنسانية الآن النيتروجين من الهواء أكثر مما تعمل، ونحن نستخدم مزيدا من المياه من جميع الأنهار معاً. إنها لمعجزة أن تتمكن نظم الأرض من الصمود أمام هذه التدخلات الفاعلة. فأجزاء كثيرة من العالم باتت أنظف مما كانت عليه قبل قرن من الزمان. وتتم الآن عملية تصفية الملوثات مثل الكبريت والنيتروجين، والجسيمات الصغيرة بشكل روتيني من خلال أنابيب العوادم والمداخن. ولقد أصبح بإمكاننا التغلب على مشاكل التحميض والضباب الدخاني، وبالرغم من ذلك تبقى هذه المهام سهلة. حقيقةً أننا استطعنا التعامل مع الأشياء السيئة في الماضي دون ضمانة لمستقبل فالتداخلات في بيئتنا كبيرة جداً.

ويستمر هجوم الإنسان على الطبيعة وتبقى المشاكل الأصعب من دون حلول. الحقيقة أننا نستهلك أكثر مما يمكن لأرض واحدة أن تحتمله. تماماً

كما يمكــن أن تنفق الشركة أكثر مما تكسب من خــلال بيع أصولها، نحن تناول الطعام الذي كان قد تراكم خلال آلاف السنين في الأرض.

وفي تقرير نشرته مجموعة من كبار العلماء، خلصوا فيه إلى أننا قد تجاوزنا فعلياً الحدود الآمنة في الكواكب وعلى محاور عدة[1]. لقد تجاوزنا القدرة الاستيعابية للمناخ بنسبة 1.5 ونحن بمعدل عشرة أضعاف نفتقد التنوع البيولوجي. كما أننا نستخرج النيتروجين بطاقة تفوق الأربع مرات في الدورات الطبيعية التي يمكن اعتبارهــا مستدامــة. ونحن أيضا على عتبات تحمــل دورة الفوسفور، وتحمض المحيطات، واستنفاد طبقة الأوزون في الغلاف الجوي العلوي.

فالحضــارة الإنسانيــة باتت غير متناسبة مــع البيئة الطبيعيــة. فنحن نستخدم أكــثر بكثير من الأرضــ. وتتفاعل نظم فرعية عديدة مــن الأرض في شكل غير مستقيم، والطريقة تعتبر مفاجئة في كثير من الأحيان. ويتجه العالم نحو عدد من التحــولات الهامة. مناخنا المتغير ونضوب النفط والمــواد الخام ويعني ذلك أنه ينبغي توقــع تغييرات كبيرة. نحن نعيش في التجاوز، الأمر الذي يجعل الهبوط بسلام من صعب التحقيق. زرعت جذور الأزمة المالية لعام 2008 من قبل الناس الذيــن أنفقت مبلغ 1.2 لــكل 1 دولار يكسبونه. كيف يمكننا منع حدوث أزمة عندما نستخدم بالفعل بنسبة 1.2 من الأرض ولدينا في الأساس كوكب واحد؟

لقد سببت الحاجة الملحة للموارد والأراضي الخصبة أحلك الجوانب للبشرية. وقــد بدأت الحروب على النفــط. وتعتبر الهجرة العدائية التــي اندلعت بسبب

(1) Rockstrom، J.، Steffen، W.، Noone، K.، Persson، A.، Chapin، F. S.، et al. (2009). A safe operating space for humanity. Nature، 461(7263)، 472–475.

تناقص الأراضي العشبية واحدة من الأسباب الرئيسية للصراع في إفريقيا في المرحلة الراهنة. وإذا كنا لا نستطيع تغيير طبيعة الاستعمار لدينا، فإننا قد نجد أنفسنا نقاتل بعضها البعض على الصعيد العالمي مرة أخرى. وإذا أردنا مواصلة المسيرة كما نحن واستنفاد الانقراض، المهمة الرئيسية التي تواجهنا هي الحفاظ على نظام الأرض المستقر.

وتكمن المهمة الأكثر إلحاحا في قضية تغير المناخ (الفصل الثاني). قبل فترة طويلة من بدء نفاذ الوقود الأحفوري، سيكون علينا مواجهة الآثار المترتبة على استخدام هذه المحروقات. سوف تشكل ظاهرة الاحتباس الحراري تهديداً أكبر بكثير في 20 عاماً مما هو عليه اليوم. لم تحدث التغيرات في الغلاف الجوي بطريقة أسرع ما هي عليه الآن. أدواتنا الحالية والهياكل الاجتماعية ليست فاعلة بما فيه الكفاية بالنسبة لنا من أجل إدارة المناخ أو لتحقيق الازدهار في محيط معاد. ويجب علينا أن نتعلم إما كيفية تغيير المناخ لصالحنا أو تطوير التكنولوجيات التي سوف تمكننا من البقاء على قيد الحياة في بيئات مختلفة. نفتقر كلاهما بشكل واضح اليوم. ولذلك ينبغي إعطاء أولوية قصوى لتطوير العلوم والتكنولوجيا في هذه المجالات. إذا ما تمكنا من حل هذه المشاكل في العقود القادمة، لدينا أسباب للأمل في بقاء ذريتنا على قيد الحياة في المستقبل البعيد.

الطاقة هي قضية أساسية، ليس فقط بسبب تغير المناخ. لدى مجتمعاتنا احتياجاتها من الطاقة من أجل البقاء لتأمين التطور والازدهار. نحن في حاجة إليها لإعداد الطعام وتوفير وسائل الراحة، وللنهوض بالعلم والتكنولوجيا، وتأمين الوقود لسياراتنا، ولشبكات الاتصالات السلكية

واللاسلكية، وللأجهزة المنزلية. الوقائع تتحدث عن نفسها.

لا يتم إنتاج أي نفط إضافي داخل الكوكب. إننا قد لا نعرف ما إذا كانت احتياطياتنا سوف تجف في عام 2040 أو 2060، لكننا نعرف أنها محدودة. ننظر في الفصل الثاني في كيف يمكننا تأجيل التحولات الحاسمة وفي التحضير لفترة ما بعد. لا تقتصر قضايا التكنولوجيا على إيجاد مصادر جديدة للطاقة وحسب، إنما كيفية توزيع وتخزين الطاقة إذ إنها أيضا من القضايا الرئيسية. كما يجب نقل الوقود عبر مسافات كبيرة، والكهرباء خاصة لديها بنية تحتية للشبكة الدولية. في كلا الحالتين، لقد استفدنا من وفورات الحجم. حتى الآن، كانت المسألة دوماً أي وسيلة هي أكبر وأكثر كفاءة وأقل كلفة. ولكن الأمر جعل من هذه البنى التحتية للطاقة أكثر ضعفاً وأقل سهولة للتغيير. وسنقوم بتحليل كيفية تغيير ذلك.

وينمو استهلاك المواد الخام بمعدل أسرع من معدل نمو السكان في العالم. وفي اثنين من الفصول اللاحقة، سنستكشف كيف يمكننا خفض هذا الأمر في هذه المصانع والمصانع الكيماوية. وتُظهر هذه الفصول جمود أنظمتنا الصناعية. فكيف يمكن للمهندسين تغيير ذلك؟. يمكنهم، على سبيل المثال، تعلم الكثير من الطبيعة. فالمواد والعمليات الطبيعية غالباً ما تكون أفضل من تلك التي يمكن أن نتصور بأنفسنا. وما تنتج الطبيعة المواد بطريقة أكثر استدامة. وسوف تجعل التكنولوجيا الجديدة عملية المصانع الكيماوية أكثر استدامة، أصغر حجماً، وأكثر مرونةً. وبذلك، لن يكون علينا إخفاء النباتات بعيداً عن المناطق الصناعية المعزولة، وباستطاعتنا تصنيع إنتاج أقرب إلى الاستخدام.

ولطالما تركت الحياة بصماتها على الأرض، ويبدو الأمر بوضوح من خلال تكوين الغلاف الجوي، والأوكسجين الذي نحتاجه للبقاء على قيد الحياة شديد التفاعل بسهولة مع سندات الكربون. مع مرور الوقت، سوف يختفي كل الأوكسجين من الجو إذا لم يزوّد الغطاء النباتي للأرض بجرعات جديدة بشكل مستمر. الغلاف الجوي هو خليط غير مستقر تحفظه الحياة على الأرض.

وقد تطور على كوكب الأرض متوازياً مع حركة الحياة. فحدثت كوارث طبيعية هائلة، إلا أن الحياة وإنتاج الأوكسجين كانا السائدين دائماً في نهاية المطاف. هناك أسباب جدية للقلق. ومن الواضح أن البشر لهم تأثير كبير وكثيف على كوكبنا. ويبقى التساؤل مشروعاً عما إذا كانت الأرض ستستمر في الحفاظ على الإنسانية بشكل منفتح إلى حد كبير. ولم يكن الجنس البشري موجوداً قبل 200 مليون سنة، عندما أطلقت، من أجل أسباب غير معروفة، كمية ضخمة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وارتفعت درجات الحرارة بشكل كبير. وقد تتمكن كارثة أقل شدة الآن وضع حد للحضارة الإنسانية كما نعرفها اليوم.

2 - التعامل مع مناخنا

نحن نقف قرب المرصد في الجزء العلوي من تلغراف هيل في مدينة بوتسدام الألمانية، حيث تمتد الأبراج الكلاسيكية الجديدة على محيطها. وتقع التلة في جمهورية ألمانيا الديمقراطية السابقة، على مقربة من المكان الذي كان يوجد

فيـه جدار برلين. من خـلال ضباب خفيف، يمكننا أن نجعـل من معالم برلين ومداخنها محطات توليـد الطاقة من التدخين. وعلى الجهة اليمنى، يوجد تلة أخـرى، التفلسبرغ، مع الإشارة إلى كونها مركز أميركي للتنصت على اعتبار أنها من بقايا الحرب الباردة. وعمل القياصرة المتعاقبون على تطوير التلغراف هيل في القرن التاسع عشر، عبر بناء مجتمع من العلماء البارزين هناك.

ولقـد استعمـل كارل سوارزتشايلـد (التلسكـوب) لتصنيـع كاتالوج النجمـة، الأول من نوعـه في العالم، بينما درس ألـبرت ميشلسون الضوء في قبـو المبنى نفسه، منذ حوالي ثلاثين عاماً، محـاولاً قياس سرعته وتحديد خصائص معينة لا يمكن تفسيرها في هذه العملية.

عمـل ألبرت أينشتايـن هنا أيضا مستنداً في نظريتـه عن النسبية الخاصة علـى اكتشافات نيكلسـون. (لقد تم عزل الظواهـر الطبيعية الأساسية في هذا المكان)، يقول هانز يواكيـم شيلنهوبر، مدير معهد بوتسدام لبحوث التأثيرات المناخية، التي تحتل الآن مركز الحاجب للتلغراف هيل.

(لسنوات عديدة، انسحب العلماء بهدوء إلى هذه التلة لتطوير أفكارهم. تعـد مهمتي اليوم عكـس هذه الحركة: وبـدلا من الانعـزال، نحن نريد اكتساب المعرفة والإتيان بهـا معا. وبدلاً من الانسحاب من العالم، يجب علينا التعامل مع الأمر لنوضح للناس إلى أين يتجه مناخنا).

وقد ألقى (شيلنهوبر) نفسه في هذه المهمة بنشاط كبير. وقد كان يناقش القضايا العلمية مع المستشارة الألمانية أنجيلا ميركل، على سبيل المثال. إنه يعرف أن المناخ يشـكل قضية معقـدة، ولهذا ولذلك، تجنـب (شيلنهوبر) التنبـؤات الإحصائية التفصيلية. ويركز بدلاً من ذلك على عدد من نقاط اللاعودة الحاسمة.

نقاط اللاعودة

(كم تغيير يمكن للأرض أن تحتمله؟ ونحن لا يسعنا السماح للرياح الموسمية في غرب إفريقيا أن تنهار؟ أو أن تذوب الأنهار الجليدية في جبال الهيمالايا؟ هل سنكون قادرين على الحفاظ على الجليد في القطب الجنوبي؟ ماذا يحدث إذا اختفت غابات الأمازون؟) عرّف هانز يواكيم شيلنهوبر مجموعة من التهديدات التي قد تغير غلاف الأمازون إلى الأبد إن أتت.

(ويتضمن نظامنا المناخي عدة آليات لردود الفعل إيجابية مع القدرة على تسريع ظاهرة الاحتباس الحراري)، يفسر شيلنهوبر. ذوبان الثلوج والجليد في غرينلاند هي مثال واحد. يعكس السطح الأبيض لذلك البلد الشاسع قدراً كبيراً من الأشعة الشمسية إلى الفضاء. كما يذوب الجليد، ومع ذلك، تزداد غرينلاند قتامة وتمتص الحرارة من الشمس بسهولة أكثر وأكثر. هذا التسخين الإضافي يرجّح ألا يعود الجليد إلى الظهور أكثر من أي وقت مضى، وفي نصف الكرة الأرضية الشمالي، مما يجعل ذوبان الغطاء الجليدي في غرينلاند واحد من أبرز نقاط التحول– نقطة اللاعودة[1].

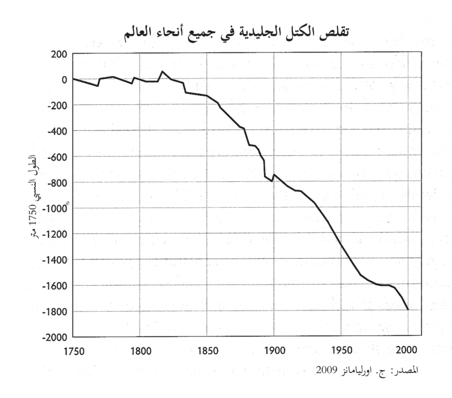
مثال آخر هو غابات الأمازون المطيرة، والتي تحتفظ في الوقت الراهن

(1) Lenton، T. M.، Held، H.، Kriegler، E.، Hall، J. W.، Lucht، W.، et al. (2008). Tipping elements in the earth's climate system. Proceedings of the National Academy of Sciences، 105(6)، 1786–1793. See also Schellnhuber، H. J. (2008). Global warming: Stop worrying، start panicking? Proceedings of the National Academy of Sciences، 105(38)، 14239.

بالكثير من الماء، وتخلق بذلك جواً رطباً يرعى ثروات الطبيعة. لو كانت لتختفي، قد يكون من الصعب جداً أن تعود أشجار الغابة والمياه الوفيرة. يشير العلماء إلى هذا التعقيد كنظام ثنائي وضع الاستقرار. يتم تأمين النظام الإيكولوجي الأمازون في واحدة من دولتين: إما الغابات المطيرة أو السهول، مع عدم وجود تكوينات وسيطة بين البلدين. (غابات الأمازون المطيرة قد تنهار في نهاية القرن)، يحذر شيلنهوبر. ويضيف أيضا (إنها ليست سوى نتيجة للتحولات المناخية؛ وقطع الأشجار غير المشروعة أيضا تسريع اختفائها).

ومن النقاط الأخرى المثيرة للقلق التي حددها شيلنهوبر ذوبان الغطاء للبحر الجليدي القطبي. في صيف عام 2008، أصبح الطريق البحري الشمالي في روسيا خالياً من الجليد للمرة الأولى في التاريخ. وعندما تذوب جبال الجليد، ينكشف سطح البحر المظلم، مما يسرع من عملية الاحتباس الحراري. يعتقد بعض العلماء أنه تم بالفعل تجاوز نقطة التحول بالنسبة للجليد البحر القطبي الشمالي.

اختفاء الرياح الموسمية الهندية هو احتمال مخيف أيضا. وتبدو الأمطار الموسمية في الهند نظاماً ثنائياً آخر، وقد يتسبب استمرار التلوث البيئي بحالة الجفاف في المناخ المحلي، مما يؤدي حتماً إلى نقص الغذاء في شبه القارة التي يقطنها أكثر من مليار شخص. الاحتمال الآخر، الذي لا يعتبر أقل ذعراً، هو أن تتأرجح نهاية المطاف الموسمية بين هاتين الدولتين المستقرتين، بالتناوب مع السنوات الجافة والرطبة التي تعمل على إزالة أي إمكانية للتكيف.



(تبدو العديد من هذه النقاط الحرجة وثيقة)، بحسب شيلنهوبر. ويضيف (لكن قد لا يظهر تأثيرها إلا بعد سنوات عديدة. نحن بحاجة إلى أن ندرك أنــه إذا كان يتم تشغيل عملية التحول، ليس هناك وقف ذلك. وخير مثال هو غــاز الميثان المحاصــر في أعماق المحيطــات بكمياتــه الضخمة. وإذا ارتفعــت درجة حرارة الأرض، فسوف يستغرق آلاف السنين لفقاعة من الرواسب والمياه للوصول إلى السطح. ولكننا لن نكون قادرين على وقف العملية إن حصلــت. ونحن قريبون جداً من نقطة اللاعودة في غرينلاند، وإذا انطلقنا وفقاً إلى سيناريو (العمل كالمعتاد)، سينهار النظام بحلول العام 2050 أو نحــو ذلك. بعد ذلك، لن نتمكن من إيقافه. فقد تستغرق عملية الصهر حوالي 300 سنة، مما يتسبب في ارتفاع منسوب مياه البحر بـ6 أمتار إضافية. نقطة تحول المناخ من هذا النوع تعني تغيراً هائلا[1]).

---

(1) An overview of the current insights may be found in a special edition of Nature، 458(7242)، April 30، 2009، pp. 1077، 1091–1118، 1158–1166.

هذا تحـد جديد تماماً للبشرية. فمنذ بدء الحضارات القديمة، تقلبت نسبة ثـاني أكسيد الكربون. وتعمل الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي كبطانية للإبقـاء على دفء الأرض. ومن دونها، تسقط درجات الحرارة الكوكبية تحـت الصفـر وتنكر بذلـك أي فرصة للتطـور أمام البشر. وقـد أتاحت المستويـات المستقـرة لأسلافنـا أن يستقـروا ويتكيفوا مـع بيئتهم. لم يقم البابليون والفراعنـة بحسابات دقيقة فيما يختص ثـاني أكسيد الكربون، ولكـن يمكننا تتبع التغيرات في الغلاف الجـوي من خلال الآثار التاريخية التـي تركوهـا في الطبقات العميقـة التي تعـود إلى 650000 عاماً[1]. بقي المناخ مستقراً بسبـب العمليات التي تتفاعل وتتداخل مع بعضها البعض. فالمناخ هو مثال التوراتية من نظام معقد مؤمن في حالة مستقرة.

ومع ذلـك، منذ أن بدأنـا بهذه الصناعـة، ازداد ثـاني أكسيد الكربون في الهـواء بنسبة غير مسبوقـة. ومنذ بضعة أجيال، فقـد أحرقنا الكربون من المصانـع التي أخذت ملايـين السنين لتتحور في النفـط والغاز. ويعد مستـوى الكربون الحالي الأعلى في تاريخ البشرية، أكثر بنسبة 35 في المائة عمـا قبل[2]. المـرة الأخيرة التي اختبرت الأرض هـذه النسبة وكانت منذ

(1) Smil، V. (2008). Global catastrophes and trends: The next 50 years. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press، 2008، p. 175.

(2) These data and many other details can be found in the reports of the Intergovern-mental Panel on Climate Change (IPCC)، www.ipcc.ch. The most recent assessments are from 2007: Climate change 2007: Synthesis report، Cambridge، UK، and New York: Cambridge University Press، http:// vermeer.net/caz. More backgrounds can

حـوالي 25 مليـون سنة، خـلال (الاوليغوسيني)، عندما لم يكـن الإنسان العاقـل موجوداً بعد، وكانت الكواكـب مسكونة بحيوانات باتت تقريبا غير موجودة الآن.

(وكانـت الأرض أكـثر دفئا بــ3–4 درجات في تلـك الحقبة، وكانت مستويات سطح البحر أعلى 75 مترا مما هي عليه اليوم)، يحذر (شيلنهوبر). وأضاف (نحن نتحدث هنا عن أمتار وليس سنتيمترات).

عندمـا يستمر ثاني أكسيـد الكربون بالارتفاع مرة أخـرى، فإن شبكة معقّـدة من الآليـات الهشة التي تحدد مناخنا ستجد مـن دون شك توازن جديـد. ولكن قد تكـون تلك الدولة الجديدة مختلفـة تمام الاختلاف عما نعرفـه اليوم. والنقـاط الحرجة التي حددها (شيلنهوبـر) كعلامة للانتقال إلى المناخ الجديد. وينبغـي أن نحاول حصر ظاهرة الاحتباس الحراري إلى المستـوى الذي لا يزال لدينا فرصة للتكيف معه. هـذا يعني أننا يجب أن نحدد بالضبط النقاط الحرجـة التي نحن بحاجة إلى تجنبها بأي ثمن لأنها سوف تحدث تغييرات، وليس لدينا أمل في التعامل معها).

حاجة ملحة للبحث

يحذرنـا هانز يواكيم شيلنهوبـر أننا ما زلنا لا نعرف ما يكفي عن آليات التغذيـة المرتـدة التي تحدد نقطة التحـول المناخي. (نحن نعـرف أن هذه

---

be found in the reports of the IPCC working groups that go with this report: The physical science basis/impacts، adaptation and vulnerability/mitigation of climate change. These reports can be downloaded at http://vermeer.net/cag

النقاط الحرجـة هناك. ولكن لم يحدثنا عن كيفيـة حدوثها؟ وأنها تقترب بسرعة؟ أو ما هي العواقب التي ستنتج عند حدوثها؟. وهناك حاجة لرصد أوثق وأكثر تقدماً. ويجب أن يكون هناك الآلاف من محطات المراقبة تتبع أشيـاء مثل دوران المحيطات والتغيرات في أنماط الرياح الموسمية. لا سيما أن لدينا التكنولوجيا لفعل ذلك، ولكن الإرادة الاقتصادية والسياسية غير متوفـرة كمـا انخفض فعلياً عـدد مواقع الأرصاد الجويـة وكان ذلك منذ الخمسينيات).

يقـول شيلنهوبر طريقة تفاعل نقـاط التحول هو شيء آخر نحن بحاجة ملحـة لدراسته. وقد يكون ذوبان الغطاء الجليـدي في غرينلاند ببساطة بمثابة حجر (الدومينو) الأول. (وسوف يساهم الأمر في ضخ المياه العذبة في شمـال المحيط الأطلسـي وزيادة منسوب مياه البحـر، الأمر الذي قد يسبـب إبطاء الدوران. كما يمكن أن تتداخل بعد ذلك الرياح الموسمية في غرب إفريقيا، وتتسبب في انهيـار الأنظمة الإيكولوجية الأخرى. وتأثير الدومينو على العمليات المسببة للاحتباس الحراري لديه القدرة على جلب كارثـة عالميـة إجمالاً. وعلى قدر ما يبدو الأمـر مدهشاً، لم يكن هناك أي بحث في هذا النوع من التفاعل بين نقاط التحول. ليس لدى العلماء فكرة حـول كيفية التحول في مكان واحد قد تؤثر علـى العمليات ذات الصلة في مكان آخر).

لدراسـة هـذه التفاعلات بشكل صحيح، أنت بحاجـة إلى نموذج على الحاسوب لنظام الأرض الذي يشمل الغلاف الجوي والمحيطات وطبقات الجليد والغلاف الحيـوي والبحري ودورة الكربـون والأيض الصناعي.

(لدينـا نمـاذج عن هذه العناصـر)، يفسّـر شيلنهوبر، (ولكننـا بحاجة إلى جمعهما في واحد، لمحاكاة الأرض الشاملة).

وتركيبهمـا معاً يشكل تحدياً كبـيراً إذ إن معظم هذه النماذج تعمل على مستويات مختلفة. ولكن يجب علينا أن ندير الأمر إن كنا نريد أن نتأكد من أننا نقوم بالأمر الصحيح للحفاظ على ظروف حياة كريمة للأجيال المقبلة. وهذا أمر يمكننا تحقيقه على التأكيد خلال 10 سنوات أو نحو ذلك.

لحسن الحظ، هناك قوى معينة في الغلاف الجوي تعارض ارتفاع درجة حـرارة الأرض. تلوث الهواء، خصوصاً الكبريت والجسيمات الأخرى، لديها تأثير التبريد الصافي على مناخنا. وتشير الحسابات إلى أنه إذا كان لنا أن نسحب (الستار) عن تلوث الهواء، ستكون الأرض أكثر سخونة بـ1.5 درجـة مئويـة مما هي عليه اليوم أو 2.5 درجة ممـا كانت عليه في أوقات ما قبل الصناعة[1].

(هـذا سيناريو كئيب بعد كل شـيء)، شيلنهوبر يعترف. ويضيف (إذا كنا لننجـح في مكافحة تلـوث الهواء، سنتمكـن من تسريع ظاهـرة الاحتباس الحـراري بطريقة من شأنها أن تقودنا مباشـرة إلى كارثة مناخية. إننا بالتأكيد قـد نفقد الغطاء الجليدي في غرينلاند، ونحـن لا نعرف ما إذا كان من شأنه أن يؤدي بدوره إلى تضخيم الديناميات. ما دام لدينا هذا التلوث، فإنه سيتم تخفيف درجات الحرارة وارتفاع درجات الحرارة العالمية. لذلك ينبغي علينا

(1) Schellnhuber، H. J. (2008). Global warming: Stop worrying، start panicking? Proceedings of the National Academy of Sciences، 105(38)، 14239–14240.

ألا نحد من تلوث الهواء بسرعة كبيرة، ونحن في حاجة إلى تأثير التبريد الذي ينبثق عنه. وهذا ما قد يمدد أمامنا الفرص لنفعل شيئاً حيال تغير المناخ).

ومن المغري أن نحلم بتأثيرات جوية أخرى قادرة على إبطاء الاحتباس الحراري والتي يمكن أن تحجب أشعة الشمس باستخدام الهباء الجوي غير الضار والذي من شأنه أن يبقى في الجو لفترة طويلة أو يعوّم بعض المواد الصديقة للبيئة على سطح الماء لتعكس أشعة الشمس. هناك دعوة متزايدة بين العلماء للّجوء إلى هذه الوسائل، أو على الأقل للبدء في بحث واسع النطاق في آثار ذلك.

(أنستطيع بالفعل الهرب إلى هذا النوع من الهندسة الجيولوجية إذا كنا يائسين تماما؟)، يقول شيلنهوبر. ويضيف (لكن قد تكون هذه الإجراءات في غاية الخطورة. إن توقف بلد معين من المساهمة لفترة من الوقت، فإن النتيجة يمكن أن يكون بمثابة الصدمة الكبرى في المناخ. ومعرفتنا لآليات التغذية المرتدة ذات الصلة ليست دقيقة بما فيه الكفاية حتى الآن. ليس لكل تلوث هواء تأثير التبريد. جزيئات الكربون، على سبيل المثال، تسرع ارتفاع حرارة الأرض. نحن بحاجة لمعرفة كيف بإمكان عدونا، الذي هو تلوث الهواء أن يساعدنا على تجنب ظاهرة الاحتباس الحراري أكثر من اللازم. علينا أن ننسق صكوك تنظيف الهواء بطريقة دقيقة جداً).

إزالة الكربون

يعدّ هانز يواكيم شيلنهوبر مغرماً بالاستعارات الموسيقية. ويشير عدة مرات إلى (سمفونية) من الإجراءات لمواجهة ظاهرة الاحتباس الحراري. (لا يمكننا الاعتماد على صك واحد للحد من انبعاثات الغازات المسببة

للاحتباس الحراري: نحن في حاجة إلى سيمفونية لحد التدابير. وسوف تكون سيمفونية معقدة جدا، وأجزاء واسعة من نقاط لا تزال بحاجة إلى أن تتكون. ولكن عندما يحين الوقت، يجب أن نقدم أفضل أداء لدينا).

نستطيع شراء قدراً كبيراً من الوقت، يشير شيلنهوبر،عن طريق الحد من انبعاث الغازات المسببة للاحتباس الحراري. (لدينا مجال واسع لتعزيز كفاءة الطاقة لدينا. يمكننا إيجاد بديل عن الوقود الأحفوري للطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية. ويمكننا استخلاص الكربون من الوقود وتنحيته على عمق كبير تحت سطح الأرض. ويمكن لسيمفونية من الإجراءات كهذه خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري العالمي بسهولة بحلول عام 2050).

ولقد بدأ المجتمع الدولي يعمل في هذا الاتجاه. والمثال على ذلك هو بروتوكول كيوتو في عام 1997. ولكن في جميع الاحتمالات، فإن خفض الانبعاثات المسببة للاحتباس الحراري لن يكون كافياً. (علينا أن ندرك أن درجة واحدة لظاهرة الاحتباس الحراري يعني في نهاية المطاف 15 – أو 20 متراً ارتفاعاً في مستويات البحر. نحن بالفعل تخطينا النقطة حيث يمكننا وقف ذلك من الحدوث ما لم نبدأ بنشاط إزالة ثاني أكسيد الكربون من الجو. ولو توقفنا عن انبعاثه اليوم، فإن ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي يمكنه البقاء هناك لآلاف السنين).

(قد يتم استيعاب بعض منه من قبل التمثيل الضوئي، ولكن لا يبقى كل الكربون ثابتاً في النبات). (نحن نعرف من دورة الكربون أن الطبيعة لا تتخلص من غاز ثاني أكسيد الكربون تماماً. يستمر ربعه في الجو لمدة ألف سنة أو أكثر. لذا سيتعين علينا أن نتعايش مع أصداء مناخ الثورة الصناعية

الأولى لقـرون قادمة. في المدى البعيد، فـإن السبيل الوحيد للحفاظ على سلامتنـا هو إعـادة التركيز على مستويات ما قبل الثـورة الصناعية. وهذا يعنـي استخدام العمليـات البيوكيميائيـة لاستخراج الكربـون من الجو. العلمـاء والمهندسين في حاجة لبدء العمل على ذلك. ليس لدينا حتى الآن أي فكـرة عن كيفية القيام بذلك على نطاق هائل من دون أن يكون هناك حاجة لمدخلات الطاقة المفرطة).

تغيير المجتمع

التحدي العلمي الذي تطرحه هذه المسائل هو ملهم جداً. (نحن بطريقة أو بأخرى نقامر مع كوكبنا)، يقول شيلنهوبر. (علينا أن نؤلف سيمفونية وأداء بحكمـة بالغة، ومـن دون تحقيق اختراقات في مجـال التكنولوجيا، ليسـت لدينـا أي فرصـة لذلك على الإطـلاق. ولكن المشكلـة الحقيقية ستكـون المسؤولية عن تنفيذ الاجتماعية لهـذه التكنولوجيا الجديدة. بأية سرعـة يمكن لمجتمعاتنا استيعاب الابتكار؟ ربمـا ليس بالسرعة الكافية. لن نقبل القيود ضرورية؟ هـذه الأمور يجب أن يتقرر على نطاق عالمي، وإلا يتحول الأمر إلى لعبة من الصعب الفوز بها).

بقي القليل من الوقت لتوجيهنا بعيدا عن نقاط التحول الحاسمة. (علينا أن نجـد السبل لتسريع قبولها، وقد تكون هذه المسألة العلمية الحاسمة التي تواجهنا الآن. نحن نضع مستقبل البشرية في خطر. علينا أن نطور أساليب الاتصـال والحوافز القادرة على نشـر التقنيات الجديدة. في نهاية المطاف، ومع ذلك، نحن في حاجة إلى نوع مختلف من التماسك الاجتماعي: يجب

علينا تشكيل تفضيلات الناس. هذه مسألة حساسة للغاية، ولكن علينا أن نفعل ذلك. علماء الاجتماع والفلاسفة واللاهوتيين، وذوو النوايا الحسنة في حاجـة للاجتماع معا. هناك حاجة ملحة إلى البحث في مجال الهندسة الاجتماعيـة لمعالجة هذه المشكلـة. لم يحدث شيء يذكر حتى الآن في هذا المجال. وتبدو التحديات مخيفة، لكنها رائعة أيضا).

البديـل هو مخيف على حد سواء. وغالباً مـا كشف الطلب على الموارد الشحيحـة الجانب المظلـم للبشرية. وقـد اندلعت الحروب علـى النفط، والهجرة المعاديـة التي أثارها تقلص المراعي هي واحـدة من عوامل إثارة التوتـر في الوقـت الراهـن في إفريقيا. إذا كنا لا نستطيـع منع تجاوز نقاط التحـول، قد تنهـار النظـم الإيكولوجيـة، والعديد من المناطـق ستصبح مأهولـة. قد نجد أنفسنا نتقاتـل مع بعضنا البعض مـرة أخرى على نطاق عالمـي. وهـذا احتمال مرعب، كما هـو إدراك أننا لـن نتمكن من تجنب الأمر إلا عبر الهندسة الاجتماعية، أي عن طريق إجبار الناس أساسا لقبول التكنولوجيا الصديقة للبيئة.

بالعودة إلى التلغرافنبرغ، نلقي نظرة أخيرة على العاصمة الألمانية، برلين، التي عاشت بعض أفظع التجارب في الهندسة الاجتماعية على الإطلاق. فهـي المدينة التي عايشـت أحداثاً رهيبة وكان شعبهـا بأكمله مقتنعاً بقتل المواطنـين اليهود في أوروبـا. لكن هي أيضا المدينة التـي مزّق فيها جدار بنسبـة قوة لا تقاوم من الاحتجـاج والصلاة. جاءت قارة معاً هنا، وأثبت التاريـخ أنه لا يوجـد في برلين تحد كبير جداً بالنسبـة للشعب الذي يقف صفاً واحداً.

3 - تحسين كفاءة استخدام الطاقة

تغـير المناخ الوشيك هـو في الواقع (حقيقة مزعجة) من شأنهـا أن تفرض علينا تغيـير استخدام الطاقة لدينا قبل أن نبـدأ في تجربة أي نقص في النفط الخام أو الغاز الطبيعي. وتأتي التحذيرات حول المناخ في وقت لا يبدو بإمكان أي شيء أن يمنعنا مـن استخدام مصادر الطاقة الأحفورية لعـدة عقود. في الواقع، لم يسبق في تاريخ حضارتنا أن تبدو آفاق استخدامنا المستمر للزيت المعدني مريحاً إلى هذا الحد.

في بدايـة السبعينيات، كان هناك فقـط 25 سنة من احتياطيات النفط المعروفة في مستويـات الاستهـلاك في ذلـك الوقت. أمـا الآن، مع نهايـة العقد الأول مـن القرن الثاني عشـر، نستطيع أن نتطلع إلى 42 سنة مـن النفط، بالرغم من أن مستوى الاستهـلاك قد تضاعف بالمقارنة مع عـام 1970. لقد عوّضت حقول النفط المكتشفة حديثاً والتكنولوجيا عن الطلب المتزايد. والاحتياطيات المعروفة هي الآن في أعلى مستوى لها منذ أن بدأت للحفاظ على إحصاءات منتظمة.

وهـذا لا يعني أن التقدم المحرز فيما يتعلق بإمدادات الطاقة لدينا سوف يكـون سلساً، والتغييرات تأتي في الصدمات، كما سنرى في هذا الفصل. من المرجح أن نشهد أزمة بعد أزمة خلال السنوات المقبلة. وسوف تساهم التدفئة الملموسة في أرضنا جعل الأزمات أكثر سوءاً.

ديناميات العرض والطلب على النفط

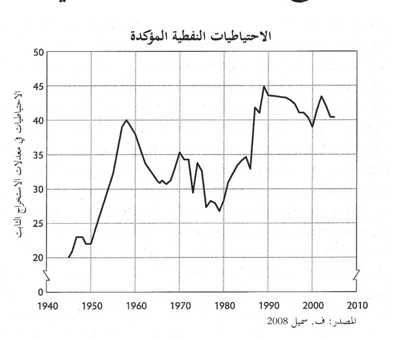
كان هنـاك نقاش عاطفي في جميـع أنحاء العالم لعدة عقود عن التوقيت الدقيق لذروة النفط. أي لحظة يبلغ فيها إنتاج النفط مستواه الأقصى ثم يبدأ

في الانخفاض حتى لم يعد هناك أي شيء قابل للحياة اقتصادياً لاستخراج النفط. ولكن ما زالت توقعات ذروة النفط تثبت دائماً أنها غير صحيحة. في كل مرة، اتضح أنه يمكن استخراج المزيد من النفط من الأرض مما كنا نعتقد سابقاً. وألقيت عملية حسابية مقلقة واحدة تلو الأخرى على جانب الطريق، كما أظهرنا أيضا في مقدمة هذا الكتاب، تتفشى نوبات الذعر جيداً مع كل موجة جديدة في أسعار الطاقة. وقبل أزمة الائتمان عام 2008، كانت أسعار النفط عند مستويات قياسية، وكانت نبوءات نهاية عصر النفط وفيرة. وبعد الأزمة، انهارت أسعار النفط، وتحول أنبياء الشؤم إلى الوعظ عن سقوط المصرفية الدولية، ونهاية العولمة، أو وفاة الاقتصاد الليبرالي.

وتبدو أسعار الطاقة مرتبطة قليلاً مع تكاليف الإنتاج الحقيقية أو الاحتياطيات المؤكدة. وتعكس التحولات مع مرور الوقت اكتشاف حقول النفط والتقدم التكنولوجي في استجابة طلبنا المتزايد على الطاقة، بالرغم من عدم إنشاء أي نفط جديد داخل الأرض، ويصبح هناك مزيد من الاحتياطيات كل عام في متناولنا. وتكتشف آبار جديدة على فترات منتظمة، ويستمر نمو تقنيات الاستخراج الجديدة. ويمكن معالجة منصات الحفر الحديثة في مجالات أكبر من ذلك بكثير، ويمكن حفر أعمق بكثير من نظيراتها منذ 10 سنوات. ويمكن أن يتم الحفر في زاوية، أيضا، الأمر الذي يتيح استخراج النفط من مصادر عدة في آن واحد. ويمكن أن تطبق هذه التقنيات في الحقول الصغيرة. بدورها، في السنوات الـ 20 الماضية، لقد أدى ذلك إلى زيادة بنسبة 30 في المائة في كمية النفط التي يمكن استخراجها

في جميع أنحاء العالم. وقد تطورت النظرة بشكل متوالٍ عاماً بعد عام[1].

ومن المثير للاهتمام أن نلقي نظرة فاحصة على هذا النمط من التغييرات، حيث ظلت التوقعات لإمدادات النفط لدينا أقل تسطيحاً عام 1990 مقارنةً مع التقلبات الحادة في الرسم البياني للسبعينيات وأوائل الثمانينيات. وتبيّن لنـا أن تلك التقلبات الكبيرة والصغيرة تتغير بطريقة خاصة. ويظهر الرسم البيـاني أن لديهـا الكثير مـن القواسم المشتركـة مع الأنماط التـي يعرضها الانهيـارات الثلجية والـزلازل. وتتبع مقادير كل هـذه الأحداث قوانين التحجيـم. هناك فكرة مزعجـة، إذ يوحي الرسم عـدم وجود توازن بين القـوى ينظـم العرض والطلب. وتتميـز أسواق النفط لدينـا ذلك بالتوتر الـذي تراكم إلى نقطة قد تؤدي إلى الانهيـار. والتقلبات الكبيرة في توافر النفط هي أكثر احتمالا مما كنا نرغب، ولأن اقتصاد النفط هو في أي مكان بالقرب من التوازن، تصبح التحولات الكبرى في هذه محتملة.



المصدر: ف. سميل 2008

(1) See، for example، BP، Statistical Review of World Energy 2009، bp.com/statistical-review. The historic development of oil reserves has also been analyzed by Smil، V. (2008). Energy in nature and society. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press.

وهذا يعني أننا يجب أن نتوقع مزيداً من الأزمات وارتفاع الأسعار المفاجئ، ولكن أيضا ظهور احتياطيات جديدة غير منظورة للطاقة وتكنولوجيات ذات صلة تخفف من حدة التوتر. أما اقتصاد الطاقة لدينا فهو ذاتي التنظيم ويستخدم الصدمات للتكيف مع التغيرات. وسوف تأتي هذه التغييرات ما إذا كنا مستعدين لها أم لا. وإذا جلسنا وانتظرنا، فسوف تأتي هذه التغييرات بمثابة صدمة، وقد تطلق العنان لاضطرابات كارثية. لتفادي ذلك، ونحتاج للاستعداد. كما يمكننا تخفيف الصدمات عن طريق التكنولوجيات الأنظف التي يمكنها بسهولة سد البنى التحتية لدينا وجعلها أكثر استجابة للتغيير. قد لا تكون هذه التكنولوجيات قادرة في حد ذاتها من منع تغير المناخ أو استنزاف الموارد المعدنية في نهاية المطاف لدينا، ولكنها يمكن أن تعطينا على الأقل فرصة لالتقاط الأنفاس قليلاً حتى نتمكن من تحقيق إصلاح أكثر دواما. وفي ما تبقى من هذا الفصل، نصف عدداً من التقنيات والإستراتيجيات الانتقالية التي يمكن أن تجعل نظم الطاقة أكثر مرونةً واستجابةً لظروف متفاوتة. وسوف نعود إلى المزيد من التغييرات الأساسية اللازمة لتحقيق اقتصاد قائم على الطاقة المنخفضة من الكربون في الفصل القادم.

وأمامنا وسيلة واضحة لكسب الوقت لاستخدام الطاقة بصورة أكثر كفاءة وإمكانية كبيرة مثيرة للدهشة. وهناك اختلافات كبيرة في جميع أنحاء العالم في كفاءة استخدام الطاقة تقريباً في كل ما ننتج ونستخدم. كثافة الطاقة للاقتصاد الياباني هي فقط نصف الكثافة في الولايات المتحدة. مقابل كل دولار منتج، يستخدم الأميركيون كمية طاقة مضاعفة من اليابانية. هذا يشير إلى أن معظم البلدان لديها الكثير من المجال

للتحسين. ويمكن أن تستخدم أجهزة التلفزيون والثلاجات وأجهزة الكمبيوتر طاقات قليلة. وإذا كنا جميعا لأداء أفضل بموازاة التكنولوجيا التجارية المتاحة، يمكن تخفيض استهلاك الطاقة في جميع أنحاء العالم إلى النصف[1]، والأمر لا يحتاج إلى تكنولوجيا جديدة. ويمكن أن نبدأ في خفض استهلاك الطاقة لدينا على الفور. وفي معظم الحالات، من شأنها أن توفر المال كذلك.

لنأخذ مثلاً تبسيط السيارات. يملك المصممون حاليا حافزا لتقليل مقاومة الهواء من سياراتهم، مما يعني أن السيارات تستخدم طاقة لا لزوم لها. حتى النماذج التي تبدو أنيقة يمكن تحسينها بشكل كبير، فعن طريق إجراء بعض التعديلات البسيطة، تمكنت منظمة غرينبيس من تقليل مقاومة الهواء لسيارة التوينجو رينو بنسبة 30 في المائة[2]. ولكن لا يتم تطبيق مثل هذه التقنيات لأن المصممين والمشترين أكثر اهتماما في أمور أخرى. تبيع المرايا الجانبية البارزة أفضل من تلك المبسطة. الشيء نفسه ينطبق على كلما نستخدم تقريبا. التكنولوجيا هي بالفعل هنا، وفي كثير من الحالات،

(1) Smil، V. (2003). Energy at the crossroads: Global perspectives and uncertainties. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press، p. 319; Stephen Pacala and Robert Socolow also showed in an influential essay in Science that we have the technical ability to hold carbon emissions at current levels for the next decades despite the forecast of economic and population growth. They identifi ed fifteen available techniques that we can use to restrict emissions to current levels، including many possibilities for increasing energy efficiency. See Pacala، S.، and Socolow، R. (2004). Stabilization wedges: Solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. Science، 305، August 13، 2004، pp. 968–972.

(2) Guzella، L.، and Martin، R. (1998). Das SAVE–Motorkonzept. Motortechnische Zeitschrift، 59(10)، 644–650.

إنهــا مربحة أيضا. وبما أن المستهلكين والمنتجين بصراحة غير مهتمين هذه الوفـورات، ينبغي تنفيذ اللوائـح والكفاءة من خلال الحملات. في مجتمع ديموقراطـي، يـؤدي هذا إلى توتر واضـح بين الإرادة الخاصـة والمصلحة العامة.

هنـاك مشكلة أخرى في حفظ الطاقة. زيـادة الكفاءة لا تعني بالضرورة انخفاض الاستهلاك الكلي للطاقة على المدى الطويل. وعلى العكس من ذلك، ينتج عن رفع الكفاءة لا محالة لارتفاع في الاستهلاك. وأسباب هذا التأثير بسيطة: إذ يتم استخـدام أي أموال نوفرهـا للاستهلاك الإضافي. وأصبحـت المنازل أكثر اقتصاداً للحـرارة وبقيت باردة، لكننا نعيش الآن في منازل أكبر مع عدد أقل من الناس.

والطائـرات هي أكثر كفاءة، ولكننا غالبـاً ما بتنا نسافر أكثر. ويستخدم التلفزيـون طاقة أقل ولكن لدينا الآن مجموعـات في غرفة النوم والمطبخ، والحمـام، وكذلك غرفـة المعيشة. نحن أيضا نقوم بشـراء أجهزة تلفزيون بشاشات أكبر من قبل بكثير. توفير الطاقة لديه تأثير في البداية، ولكن ذلك لا يـدوم طويلاً ويتم إلغاؤه في وقت لاحق مـن قبل الاستهلاك الإضافي. وهذا يعنـي أن تحسين الكفاءة يجب أن يكون عمليـة مستمرة، مع قياس واحد بعد آخر باستمرار، مما يستدعي الاستثمار المستمر في التكنولوجيا.

ومن المثير للاهتمام أن يقارن هذا مع استخدام الطاقة في الطبيعة. لم تتطور الأنـواع لأقصى قدر من الكفاءة في استخدام الطاقة، ولكنها تطورت إلى الحـد الأقصى للياقة البدنية، كمـا يصف تشارلز داروين. وفي عام 1922، حـاول العالم الكيميائي الأميركي الفريد لوتـكا ترجمة هذه اللياقة البدنية

وخرج مع المبدأ الذي صاغه في وقت لاحق بشكل مثير للجدل للقانون الرابع للديناميكا الحرارية[1]. وبحسب لوتكا، تتدبر هذه الكائنات البقاء على قيد الحياة لاستخدام القوة القصوى، أو بطريقة أخرى، تميل هذه الكائنات إلى زيادة معدل استخدام الطاقة المفيدة من خلالهم. وتتوازن الكفاءة في استخدام الطاقة والحاجة إلى كثافة الطاقة المرتفعة، الأمر الذي يحدد القوة والأداء. ويعد مبدأ لوتكا صالحاً لمجموعة واسعة من أنظمة الطاقة المستهلكة، وليس فقط في الطبيعة، كما أنه صالح للمنتجات، والمباني والنقل والأنشطة الاقتصادية الأخرى.

وتزيد أصلح التكنولوجيات كثافة الطاقة التي لا تزال ذات قيمة، إذ إنها تزيد من كمية الطاقة التي تتوفر لأغراض مفيدة. ولكن كفاءة تحويل الطاقة مقيدة في الحاجة إلى أقصى قدر من تدفق الطاقة. وهذا ينطبق في كثير من الأحيان على حساب تحسين نظام كفاءة استخدام الطاقة في أنظمة شاملة، لذلك هناك سبب جوهري وناجم عن المنافسة لكون الطاقة الشاملة غير فاعلة. الإنتاجية العالية هي أكثر أهمية من أجل البقاء، ولكنها تكلف الكثير من الطاقة.

أما بالنسبة للعمليات الكيميائية في الصناعة والكائنات الحية، فالغلة العالية أمر ضروري. وهذا يعني أنه هو الأمثل لكمية المواد المنتجة في وحدة الزمن والفضاء بدلاً من استهلاك الطاقة. والتفاعل الكيميائي الذي

(1) Hall، C. A. S. (2004). The continuing importance of maximum power. Ecological Modelling، 178 (1–2)، 107–113.

يحدث بسرعة عالية، وغالباً ما يكون بعيداً عن التوازن وهو بالتالي أقل كفاءة من بطء رد فعل على مقربة من التوازن. وفي كثير من الحالات العملية، أعتبر أن كفاءة الطاقة بنسبة أكثر من 50 في المائة لا تخدم في الكفاح من أجل البقاء على قيد الحياة. لذلك، إن لزم الأمر، يجب زيادة الكفاءة والحد من زيادة الإنتاجية والحد من المرونة في التحول إلى مصدر آخر للطاقة. ويتسبب الحفاظ على الطاقة القصوى في نهاية المطاف بسدّ تأمين تكنولوجيا الطاقة الواحدة. وهذا يذكرنا بأفكار توماس هومر ديكسون، إذ يدعي أن زيادة الكفاءة يسبب زيادة الحساسية للصدمات عندما تتغير الظروف. بالمعنى الدارويني للأمور، هذا ما يعرف بانخفاض اللياقة البدنية ويقلل من القدرة على التكيف. وتتيح التكنولوجيا الحديثة التدابير التي تجعل من أنظمة الحفاظ على الطاقة لدينا أكثر مرونة وقدرة على التكيف مع الظروف المتغيرة. وفي المقطع التالي، نحن نتأمل على سبيل المثال الوقود المستعمل للنقل.

تأجيج (تغذية) النقل

ماذا جاء أولا، السيارة أو محطة الخدمة (البنزين)؟ لا قيمة للسيارة إذا لم تتمكن من ملئها بالوقود، ولكن لا أحد يبني محطات الخدمة إذا لم تكن هناك أي سيارات مارة. تطورت السيارات والبنزين معا على مدى أكثر من قرن من الزمان إلى النقطة حيث باتت البنية التحتية تشكل نظاما صارما التي لا يمكن تغييره بسهولة. هذا ما يجعل مصافينا أعجوبة التكنولوجية. لقد كرس أجيال من الكيميائيين إبداعهم لتحسين المصانع تدريجيا.

أي شخص يفكر في افتتاح محطة وقود الديزل الحيوي سوف يبدأ تطوير التكنولوجيا الخاصة به انطلاقا من النقطة التي وصل إليها كيميائيي البترول قبل 50 عاما. أي شخص مهتم بسيارات الطاقة الشمسية سيواجه معضلة مشابهة، في حين أن التكنولوجيات الجديدة يجب أن تبدأ من الصفر، ويمكن بسهولة توسيع البنية التحتية القائمة. غالبا ما تبنى مصاف جديدة إلى جانب القديمة، مع إمكانية الوصول إلى المرافئ نفسها. وبالتالي، تلف ناقلات النفط الجديدة تقريبا قبالة خط الإنتاج، وفقا لمبادئ تصميم المنشأة نفسها التي جعلت سابقاتها ناجحة جدا. حتى في حالة وجود الطريق السريع، فإنه من الأسهل توسيع طريق قائمة من بناء طريق جديدة. بالتالي، إذا كنت تهدف إلى إدخال قدر أكبر من الكفاءة والمرونة، فإن الإستراتيجية الواعدة تقوم على تغيير المكونات بدلا من تغيير النظام نفسه. وهو تطور واعد، على سبيل المثال، بعض السيارات تعمل على البنزين والكهرباء على حد سواء، لأن البنية التحتية لكلاهما موجودة بالفعل. الجمع بينهما يوفّر مولدات الطاقة للسيارة الكهربائية والبطاريات تحرص على التأكيد أن محرك البنزين يعمل دائما على الكفاءة المثلى. كما أنه يقدم المرونة لأن السيارات الهجينة هي أقل اعتمادا على البنية التحتية للطاقة واحدة. هذا ما يجعلها سهلة الإدخال، حيث يكون لسيارات الهيدروجين مستقبلا أكثر صرامة لأنه لا يوجد هيدروجين في البنية التحتية. وبالمثل، فإنه من الصعب استبدال مصافينا مع غيرها من مصانع إنتاج الوقود. بدلا من ذلك، يمكن تكييف المصافي القائمة على اتخاذ أكثر من المواد الخام، الأمر الذي يجعلها أقل اعتمادا على مصدر وحيد للطاقة المعدنية، أو وفي خطوة

أخرى إلى الأمام، يمكننا إدمــاج التكنولوجيات لإنتاج الوقود السائل من الغاز الطبيعي والفحم. وهذا من شأنه أيضا أن يجعل المصافي أكثر مرونة، في وقــت واحد مع توفير الطاقة وتقليــل انبعاثات الكربون، إذ إن مصافي التكرير مثل هذه أكثر قدرة على التكيف مع المتطلبات المتغيرة. يمكن أيضا أن تكــون مصممة لتأخــذ المواد البيولوجية كمــادة وسيطة. يمكن للوقود الحيوي أن يحل محل الوقود السائل جزئيا الذي من شأنه أن يقلل أيضا من انبعاثــات الكربون. عموما إنها فكرة سيئــة أن نزرع المحاصيل خصيصا لاستخدامهــا في الوقــود، إذ هذا يجعلها دائما تتنافس مــع إنتاج الأغذية وتوفــير المياه. ولكن يمكــن أيضا استخــدام القش والخشــب والنفايات. استخــدام الطحالب أيضا واعد إذ تقدم عشرة أضعاف الطاقة من محصول فول الصويا لــكل وحدة من السطح، وذلك لأن النباتات البرية تنفق أكثر مــن طاقتها في ضخ ما يصل الماء من التربــة، في حين أن الطحالب يمكنها استخدام كل شرارة الطاقة في التكاثر.

ويمكن أن يشكل مثل هذا الوقود الحيوي المستدام وقود الطائرات لدينا، حيث التحول إلى الكهرباء ليس خيــارا[1]. فإنه تجعل الطيران أقل اعتمادا على النفط المعــدني، مما يتيح لنا الوقت للعمل علــى شبكات النقل البديلة لمسافات طويلة، مثل السكك الحديدية العالية السرعة والعبّارات السريعة. في الوقــت نفسه، يمكننا العمل على العديد مــن الاختراقات التكنولوجية

(1) Daggett، D. L.، Hendricks، R. C.، Walther، R.، and Corporan، E. (2007). Alternate fuels for use in commercial aircraft. Boeing Corporation، http:// vermeer.net/cah

التــي هــي ضرورية لتقريــب استخــدام الهيدروجين كوقــود النقل (انظر الفصل التالي).

جمود شبكة الكهرباء

شبكــة الكهرباء هي عنصر آخر جامد داخــل البنية التحتية للطاقة لدينا. ويشــكل التكويــن الخاص بها عقبــةً رئيسيةً في طريق التغيــير، ذلك وفقاً ليــان بلوم، الأستاذ الفخري لنظم الطاقــة الكهربائية في جامعة ايندهوفن للتكنولوجيــا في هولندا. وبلوم هو المدير السابــق لمؤسسة أبحاث الطاقة والهيئــة المنظمة، وهــو أيضا ملمّ بالبنية الأساسية لإمــدادات الكهرباء من الداخل إلى الخارج.

(وكلمــا كانت خطوط الكهربــاء سائبة، تصبح الشبكــة أكثر جموداً. وهــذا لا يعني فقــط أن انقطاع التيار الكهربائي يصبــح مرجحاً أكثر، إنما يصبــح تنفيــذ التغييرات أكثر صعوبــة. في هذه الحالة، يمكــن لتغيير مسار (كابل قوة واحد) يؤدي إلى مشاكل خطيرة. في المناطق المكتظة بالسكان، لا يمكن إعادة توجيه الأبراج العالية لأنه لا توجد مساحة لأخرى جديدة. علينــا أن نجعل الشبكة أقل تصلباً حتى نتمكن من الاستجابة للتغير بسرعة أكبر. نحــن بحاجة لجعل شبكة الكهرباء والمولــدات لدينا أكثر مرونة في المستقبل).

وتتوجــه شبــكات الكهربــاء القائمــة لدينا نحــو نهج المركزيــة لتوليد الكهرباء. يمكنك تحديد محطة توليد كهرباء بعيدة عن الكابلات ذات الجهد العالي التي تنطلق مروحتها في كل اتجاه وتوزع إنتاج المصنع إلى المستهلك.

المركزية الحاليـة لتوليد الكهرباء والتقنية أصليـة. لسنوات عديدة، الأكبر كان يعنـي أكثر كفاءة وأرخص. المرجل الأكبر، على سبيل المثال، كان أقل عرضـة لفقدان الحرارة. (زيادة الحجـم أسفر عن وفورات)، يشرح بلوم. ويضيـف (لكن التكنولوجيا هي الآن جيـدة جداً بشكل أن الحجم لم يعد مهمـاً. يمكننا أن نجعل التوربينات أصغر وأصغـر، على سبيل المثال، دون التضحيـة بالكفاءة. هذا يعني أنه يمكننا تكوين الشبكة بطريقة مختلفة، أقل مركزيـة، مع جيل أقرب إلى المستخدم. الأمـر سيعكس التسلسل الهرمي الحـالي، وبدلاً من وجود إمـدادات المركزية السلبية مـع العملاء، سوف نتحـرك نحو وضع يتولى فيه العملاء أنفسهم توليد الطاقة مع نظام التدفئة في المنـازل، الأمر الذي يولـد الكهرباء أيضا. سوف تكـون الأسر عندئذ قادرة على إمداد الطاقة إلى الشبكة).

(هذا ما يحدث بالفعل، وإن كان على نطاق ضيق. غرف تحكم الشبكة المركزيـة لن تكـون قادرة على المواجهـة إذا كانت هناك زيـادة كبيرة في عـدد من موردي الطاقـة. السيطرة هي التحـدي الحقيقي في مجال تحقيق اللامركزية في إمدادات الكهرباء لدينا)،... يحذر بلوم. أما الإستراتيجية الحالية فهي للافتراض أن قوة التدفقات تذهب في اتجاه واحد فقط وتقتصر إلى حـد كبير علـى أجهزة الاستشعار داخل الشبكـة إلى العمود الفقري. وعندمـا تكـون جميع تدفقات الطاقـة من المركز، لن يحتـاج العمال إلى معرفة ما يجري في الشعيرات الدموية في الشبكة. ولديهم فكرة عامة عن ديناميات الشبكة علـى أساس التغيرات في الجهد والتردد الذي بإمكانهم قياسه. الـتردد يوفر المعلومات عن مسافات طويلـة، والجهد يخبرهم عن

حالة الشبكة في مدى أقصر. إذا غيّر جارك المفاتيح على غسالة الصحون، على سبيل المثال، ستلاحظ وجود تراجع طفيف في الجهد.

كل هذه الإشارات تجعل السيطرة المركزية ممكنة من دون وجود شبكة حاسوبية إضافية من أجل السيطرة. هذا النموذج يتغير أكثر وأكثر كلما قام المستهلكون بتوليد الكهرباء لأنفسهم، الأمر الذي يزيد من ضرورة أن يكون هناك نظرة أكثر تفصيلاً في سلوك هذه الشبكات، ولا يمكن توفيرها من قبل معلمات عالمية مثل الجهد والتردد. وستكون الخطوة الأولى نحو سيطرة أكثر دينامية تتم عبر زيادة عدد من أجهزة الاستشعار في الفروع المحلية للشبكات. وينبغي للمخابرات اللامركزية متابعة الموضوع عن كثب أكثر. (إن الهدف هو تصميم التنظيم الذاتي لشبكات كهرباء فيها آلاف من وحدات أصغر تقرر عن أنفسها. ما يسمى التكنولوجيا)، يقول يان بلوم. (اللامركزية تعني عكس التسلسل الهرمي للشبكة. وستجعل التيار الكهربائي أكثر مرونة لتتيح لنا بأن نشمل العديد من المولدات الكهربائية الصغيرة في الشبكة. السؤال الأساسي هو كم من الاتصالات الإضافية اللازمة لهذه التكنولوجيا اللامركزية. سيكون أمراً رائعاً إذا كنت لا تحتاج إلى مبلغ إضافي، وشبكة تحكم منفصلة من شأنها أن تعرقل الموثوقية. لذا يجب على الوكلاء المحليين أن يكونوا قادرين على العمل على أساس من الجهد المكثف. وتردد أنها تقيس في موقعهم داخل الشبكة. لكننا ما زلنا لا نعرف إذا كان ذلك ممكناً).

(وثمة خطوة أخرى في عكس التسلسل الهرمي الحالي وهي أن يكون المستهلكين أكثر ذكاء في استخدام الطاقة) يضيف بلوم. (لقد كانت

السيطرة على الشبكة قائمة دوماً على المفهوم القائل بأن العرض يتبعه الطلب. إذا كانت التغييرات كثيرة، يتم تكييف كمية طلب تبعاً لذلك. ومع ذلك، إذا لم يتم تضمين مصادر أكثر تنوعاً مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية في توليد الكهرباء، فإنه من المنطقي أن نتحول إلى مفهوم العرض والطلب. وهذا يعني، على سبيل المثال، أن بدء تشغيل غسالة الصحون حالما يليه بدء الرياح لتوفير ما يكفي من القوة التي من شأنها أن تمكننا من استغلال الطاقة المتجددة لدينا إلى أقصى حد).

وتعني اللامركزية تلقائياً أن الاتصالات عبر مسافات أكبر سوف تصبح أقل أهمية، يقول بلوم. (لذا لا ينبغي لنا جعل خطوط الكهرباء أكثر سمكاً. بدلاً من ذلك، ينبغي بناء خطوط جديدة لزيادة التكرار في الشبكة. إذا كان كل موقع يمكن الوصول إليه عبر طرق متعددة، لديك المزيد من الإمكانيات لتحويل مسار السلطة والتغييرات والطلب أو العرض. (طاقة التخزين مهمة أيضا عند تحقيق اللامركزية في الشبكة. إذا كان من الممكن تخزين الكهرباء على مقربة من المستهلكين، ويمكن استكمال النقص في الطاقة المحلية محلياً، وتقليل الاعتماد على الاتصالات للمسافات الطويلة).

بطارية التكنولوجيا تتطور بسرعة، وهذا ليس خياراً بعيد. (إدخال السيارات الكهربائية على وجه الخصوص سوف يحفز هذا الخيار) يان بلوم يفكر. (يمكن أيضا استخدام بطارية سيارتك لتخزين الطاقة الكهربائية في الشبكة ليلاً). يمكننا في نهاية المطاف إحداث شبكة ذاتية التنظيم تتكيف تلقائياً عندما يتم توصيل مولدات جديدة فيها. (وهذا سيسمح بإدراج التكنولوجيات الجديدة في البنية

التحتية بشكل أسرع بكثير. إنها ثورة حقيقية من شأنها أن تنقلنا من جيل مركزية السلطة إلى الشعب)، يقول بلوم. فكرة تعكس التطورات في مجالات أخرى أيضا. الإنترنت يخدم كذلك العديد من مقدمي الخدمات والمستخدمين في نفس الوقت. وفي الوقت نفسه، الشفاء الذاتي، تغيير مسار، والتكرار، واللامركزية هي المسائل التي يتم اتباعها في هذه البنية التحتية الرئيسية الأخرى لمجتمعنا. جعل شبكات الكهرباء لدينا أكثر ذكاء ليست سوى خطوة أولى نحو جعل البنية التحتية أكثر مرونة. نحن بحاجة أيضا للتحضير لتغييرات أكثر جذرية في إمدادات الطاقة لدينا. في المدى الطويل، مصادر الطاقة الأخرى سوف تضطر إلى اتخاذ أكثر من النفط الخام. هذا هو موضوع الفصل التالي.

4 - البحث عن الطاقة الجديدة

بحثنا في الفصل السابق في آفاق بنيتنا التحتية الحالية للطاقة وسألنا كيف يمكن جعلها أكثر مرونة واستدامة. في هذا الفصل، ندفع إلى الأمام اقتصاد الطاقة الجديدة بعد عصر النفط. كمية الطاقة المتاحة ليست هي مصدر القلق الرئيسي في حقبة ما بعد الكربون، إذ إننا محاطون كميات هائلة من الطاقة. وتدوم قوة أشعة الشمس لفترة طويلة قبل أن نبدأ في اكتشاف مصادر الطاقة الأحفورية، وعلى سطح الأرض يمكننا تسخير الرياح والمياه. يتم تغليف كمية هائلة من الطاقة في كوكبنا في شكل حرارة. حتى الآن، نحن فقط نؤيد الاستفادة من هذه كسور الصغيرة لإمدادات الطاقة الطبيعية. لتقييم الخيارات الطويلة الأجل، علينا أن نسأل أنفسنا:

كيـف يمكننـا تسخير مصادر الطاقة هذه في مثـل الطريقة التي قد تخدمنا دون التراجـع الخطير في الحضارة الإنسانية؟ عندئذ فقط يمكن أن نأمل في الانتقال التدريجي إلى عصر الطاقة الجديدة.

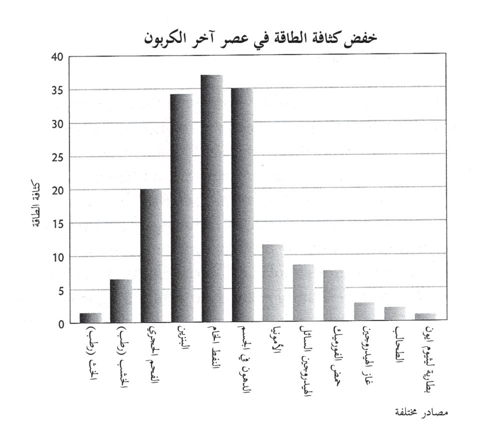
في سيـاق التاريخ، استخدمنا نماذج للطاقة أكثر تركيزاً من أي وقت مضى. في العصـر الذي كنـا نتدفأ فيه عبر نار الحطـب وأكل الحبوب من الحقل، كنا بحاجـة إلى حـوالي متر مربع مـن الأراضي لكل (وات) مـن الطاقة المتاحة. عندمـا قمنا بترويض الرياح المائية، ارتفع العائـد من الطاقة في المتر المربع من الأرض بعامل عشرة. شكل مجيء الفحم والنفط والغاز عاملاً آخر للمئات من التحسينـات. ويحسب هذا من خلال تلخيص مساحة الأرض التي تحتاجها لحفـر شركات الطاقة وتحويلها إلى شكل مفيـد للطاقة. ويمكن إجراء حساب التفاضل والتكامل مماثل باستخدام محتوى الطاقة من شركات الطاقة نفسها.

وقد تطور المجتمع مع كل ابتـكار الطاقة اللاحقة. وسمحت الأشكال الأكـثر تركيزاً من البطاقة ركيزة لمجتمع أكثر تركيزاً مع تقسيم أكثر تعقيداً للعمـل. الآن ليس علينا البحث في مناطـق واسعة من الأراضي عن بعض السعرات الحرارية المفيدة لأنفسنا، في وقت يمكننا أن نكرس وقتنا للراحة والمنتجات المعقـدة[1]. هذه هي صيغة أخرى لمبـدأ التطور لألفريد لوتكا التي واجهناه في الفصـل الماضي. ويبدو أن المجتمع يتطور في اتجاه كثافة القدرة القصوى[2].

---

(1) Niele، F. (2005). Energy: Engine of evolution. Amsterdam: Elsevier Science.

(2) Hall، C. A. S. (2004). The continuing importance of maximum power. Ecological Modelling، 178(1–2)، 107–113



وبالتالي، فإن قضية الطاقـة ليست فقط حول نبش الحفريات أو اصطياد أشعة الشمس. إنها أيضا عن إتاحتها للاستخدام، مما يعني أنه يتعين علينا أن نركز عليه ونقله ونخزنـه. هذا ما سندعوه ثالوث الطاقة. جميـع الأرجل الثلاثة للمثلث هامـة في ضخ الطاقـة في مجتمعنا المعقد. المجتمع المستقبلـي سيحتاج للطاقة في أشـكال كثيفة يمكن نقلها وتخزينها للحفاظ على هياكلها من التفاصيل. الفشل في تزويـد الوقود لنسيج الإنسان المعقد يسبـب الانخفاض. وقد جادل توماس هومر ديكسون، أن الإمبراطورية الرومانية بدأت في الانخفاض عندما استنفدت أفضل مواردها للطاقة، الذي اتخذ في ذلك الوقت شكل الأراضي الزراعية[1].

بالنسبة للنظـام القائم على الطاقة الغذائية، فقـد اضطر إلى الانتقال إلى الأراضي الفقيرة وأبعد من المدن الرئيسية، وكان على السكان العمل بجدية

(1) Homer-Dixon، T. (2006). The upside of down: Catastrophe، creativity and the renewal of civilization. Toronto: Random House of Canada Ltd.

أكبر وأكثر صعوبة لتغذية الثيران التي كانت عاملاً أساسياً في بناء الهياكل المعقـدة من المجتمع الروماني. حتى في ثالـوث الطاقة، نشأت عيوب في التركيز والنقل وتخزين الطاقة. وقد شهد انهيار مماثل في مجتمعات أخرى. يمكـن القول، استندت هيمنة هولندا على العالم في القرن السابع عشر على طاقة الرياح، والتي وصلت إلى نهايتها عندما بدأت دول أخرى باستخدام وقود أكثر تركيزاً، وهو أمر افتقدته هولندا في ذلك الوقت.

العثور على بديل لاقتصادنا القائم على الطاقة الأحفورية يتطلب اتباع نهج النظام. ويجب علينا ليس فقط اتخاذ جميع الأرجل الثلاثة للثالوث الطاقة بعين الاعتبـار، لكن أيضا التعامل مع التغيـيرات في بنية المجتمعات. لذلك سوف نحتاج إلى مشاركة المجتمع والسياسة في التحضير للفترة الانتقالية.

الطاقة من الشمس

لذلك دعونا نبدأ تحليلنا مع الطاقة الشمسية. من الناحية النظرية، تقدم لنا الشمـس المزيد ما يكفي من الطاقة لحضارتنا بأسرها. الطاقة الشمسية التي يتلقاهـا سطح الأرض هي 10000 أضعاف مـا نستهلكه. ومن الجدير أن تكون ساعتين للإشعاع الشمسي كافية لتوفير كل الطاقة البشرية لمدة عام. ولكـن تنتشر أشعة الشمس على مساحـة واسعة وتنخفض حدتها بشكل كبـير. في المتوسط، يتلقـى كل متر مربع من سطـح الأرض 170 وات[1]،

(1) This is the global means of solar radiation absorbed by Earth's surface، subtracting the energy absorbed by the atmosphere or reflected back into space. Maxima in excess of 250 M/m2 are possible in subtropical deserts. See Smil، V. (2003). Energy at the crossroads: Global perspectives and uncertainties. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press.

والتـي يستخرج منهـا فقط بحد أقصـى 30 وات بالكاد تكفـي لتشغيل مصبـاح كهربائـي. وللخلايا الضوئيـة الحديثة أداء أفضل مـن توربينات الرياح السطحية لكل وحدة من التأخر ولكن أقل بكثير من أشكال مركزة مـن الطاقة الأحفوريـة التي تعودنا ذلـك. يجوز لمنطقـة سقف منزل في الريـف أن تكون كبيرة بما فيه الكفاية لجميع الخلايا الشمسية التي ستكون ضرورية لتلبية متطلبات الطاقة للمبنى، بشرط أن يكون المبنى معزولاً للغاية وتكون كفاءة الأجهزة على أفضل وجه ممكن، لكنها بالتأكيد ليست كافية بالنسبة لغالبية البشر الذين يعيشون في المنازل القديمة أو المباني الشاهقة.

يحتاج عصرنا إلى أشكال أكثر تركيزاً للطاقة. ويمكن لكل مدينة بأي حال من الأحوال أن تكون مكتفية ذاتيا لنسبة كبيرة من احتياجاتها من استهلاك الطاقـة المولدة من الشمس. لهذا، الاستخـدام الحالي للطاقة الشمسية هو هامشي جداً. فمن السهل أن تكسو سقفك بالخلايا الشمسية، ولكن ذاك شأنـه أن يؤمّن فقـط جزءا صغيرا من الكهرباء للأسـرة. كل شيء أبعد من ذلك يتطلـب بنى تحتية مختلفة تماماً لتركيز الطاقـة ونقلها وتخزينها. نحن بحاجـة إلى النظر في ثالـوث الطاقة الكاملة لجعل الطاقـة الشمسية قادرة علـى البقاء. ليس علينا فقط تطوير المزيد من الخلايا الشمسية، ولكن أيضا يجب إنشاء البنى التحتية الجديدة لتقديمها إلى سياراتنا والمكاتب والمنازل.

في اقتصـاد الطاقـة الشمسية الحقيقـي، يجب أن تكـون مساحة هائلة مغطاة بخلايا الطاقة الشمسية، مما يعني أن الأمر سيتطلب منا نقل الكهرباء لمسافـات كبيرة. سيكون علينـا تثبيت الكابلات الطويلـة من الصحارى البعيـدة وإنشاء شبكـة اتصالات رئيسية بين الشـرق والغرب لنقل الطاقة

لمناطق زمنية مختلفة. خطط من هذا القبيل تواجه مشكلة ارتفاع التكاليف وإجراءات الشبكة والتعقيدات السياسية في اختيار الطريق. شبكة أومينا الفائقة، على سبيل المثال، استنادا إلى جهد عال لنقل الطاقة الشمسية الإفريقية، سوف تضطر إلى المرور بدول مثل ليبيا، والجزائر، وتونس، وهذا من شأنه أن يخلق تبعيات جديدة[1].

الكيانات في ثالوث الطاقة هي أشبه بالأواني المستطرقة. عندما نود أن نقلل من الحاجة لفترة طويلة المدى من الوصلات، يجب أن نرفع كفاءة توليد الطاقة المحلية وتخزين الطاقة الشمسية بحيث تخفّ نسبة الطاقة التي يجب أن تأتي من مكان آخر. الكهرباء لا تبدو وسيلة مثلى في اثنين من الأطراف الثلاثة لهذا الثالوث. نقل الكهرباء لمسافات بعيدة عملية مرهقة وتثير قضايا جديدة متعلقة بالاستقرار، كما ظهر في الفصل السابق. ومن شأن شبكة القارة أو حتى الشبكة العالمية من اتصالات المسافات الطويلة للطاقة أن تزيد الحساسية للصدمات داخل أنظمة الكهرباء. لا يمكن أن يتم تخزين الكهرباء بشكل جيد جداً كذلك.هذا هو أحد أوجه القصور الخطيرة في ضوء الطابع المتقطع للإشعاع الشمسي. وقد وضعت الشمس في كثير من الأحيان في الوقت الذي يلجأ الناس على شاشات التلفزيون في المساء.

البطاريات وخزانات المياه ليست بأي طريقة كافية لتذليل الاختلافات في وضح النهار واستخدام الطاقة. تحقيق اختراقات في هذه المجالات

(1) See Desertec's white paper، http://vermeer.net/caj

الضرورية طبعاً، والتحدي الكبير الآخر هو إنتاج الخلايا الشمسية على نطاق واسع. معظم التكنولوجيات تصبح أرخص مع الإنتاج الضخم، والتصغير يقلل من التكاليف المادية وثمن الآلات.

حدث ذلك، على سبيل المثال، مع أنظمة التدفئة المركزية. في بعض الأحيان، يتم التوصل إلى مثل هذا الإنتاج الضخم من خلال زيادة حجم الوفورات، الأمر الذي يجعل التكنولوجيا أيضا أرخص. لقد كان ذلك منذ فترة طويلة سر نجاح لمحطات الطاقة. ولكن في حالة الخلايا الشمسية، لا إستراتيجية الأعمال. إذا قمت بتصغير المساحة السطحية للخلايا الشمسية، يمكنك التقاط ضوء أقل. وإذا كنت تصل نطاق التكنولوجيا، تحتاج ببساطة إلى المزيد من المواد. لا يوجد شيء مثل قانون مور للخلايا الشمسية. الشيء نفسه ينطبق على العديد من الأشكال الأخرى من الطاقة المتجددة، مثل طواحين الهواء أو الطاقة الكهرمائية. العائد يتناسب طردياً مع المساحة السطحية للخلية الشمسية، وكمية المواد المستخدمة في طاحونة، أو منطقة الحوض المائي.

المواد الخام هي عنق الزجاجة للخلايا الشمسية، إذ لا يمكن للمنتجين أن يحولوها بسرعة كافية. منذ عام 2007، تم استخدام كمية أكثر من السليكون في إنتاج الخلايا الشمسية مما في ذلك من الإلكترونيات الدقيقة، مما يؤدي إلى نقص سريع في رقائق السليكون الثمينة. اتخذ النقص أبعاداً حادة لدرجة أن بعض المصنعين من السليكون يرفضون الآن توقيع عقود لفترات أقل من 10 أعوام. بذلك، لا يمكن للشركات التي تعتمد على الآلات اللازمة لإنتاج الخلايا الشمسية مواكبة الطلب. نتيجة لذلك، أي

شخص يرغب في إنشاء مصنع للخلايا الشمسية يجب أن ينتظر لمدة تصل إلى عـدة سنوات للحصـول على عقد من المعدات والمـواد الضرورية. إذا كان لنـا أن نتحول إلى مستـوى كبير جداً من الطاقـة الشمسية، سيكون علينـا أن نجد التكنولوجيا التـي يكون الارتقاء بها أكـثر سهولة مع المواد التـي تتوافر بسهولة كميات كبيرة من الأجهزة والتي لا تحتاج لمشغلين مع 5 سنـوات من التعليم الجامعي. ومن الممكـن استخدام إجراء البوليمرات لإنتاج الخلايا الشمسية خفيفة ومرنة. يمكن بالفعل أن تكون هذه مطبوعة مسبقـاً في لفة إلى لفة العمليات بسرعة تتجـاوز سرعة نقل أي تكنولوجيا للطاقة الشمسية الأخرى إلى حد بعيد. على الرغم من أن حالة فن البوليمر الخلايـا الشمسية حاليـا تحقيق كفاءة تحويل الطاقة من حوالي 6 في المئة، لا تزال التكنولوجيا قي مهدها. وهناك أفكار واعدة لزيادة تلك الكفاءة.

طواحين الهواء

الكثـير من المآخـذ على الطاقة الشمسيـة تنطبق أيضا علـى الاستخدام الواسع النطاق لطاقة الرياح. جميع الأرجل الثلاثة لمثلث الطاقة تحتاج إلى التعزيـز للعديد من الأسباب المشابهة للطاقـة الشمسية. الرياح هي شكل متغـير ومخفف مـن الطاقة التي تحتاج إلى سطوح كبـيرة، وشبكات طويلة المـدى، وتخزين شامل إذا تم استخدامه لزيـادة كبيرة. على عكس الطاقة الشمسيـة، طاقة الرياح إلى حد كبير تقنية ناضجة. وقد أُحرز تقدماً هائلاً منذ بـدأ المهندسون الهولنديون في استخدام هـذه التكنولوجيا في القرن السابـع عشـر لاستنزاف البـلاد المنخفضة وخلق أرض جديدة للسكن.

يمكــن لطواحين الهــواء اليوم حصــاد 50 في المئة من الطاقــة المتحركة في الهواء. وكانت بالتالي الحملة لتحسين التكنولوجيا ناجحة[1].

ليســ من الضرورة إغلاق أحدث النماذج في الرياح العاتية، وقد تحسن أداء المواد المرنة والتصاميم في إطار مجموعة واسعة من الظروف. التحسن في الاعتمادية والصيانة مثيران للإعجاب على حد سواء. معاً، لقد أحدثت هذه التطورات ثمن طاقة الرياح في نطاق من الكهرباء المولدة من محطات الطاقة التي تعمل بالغاز. لقد تقدمت طواحين الهواء حقاً في العمر وليس هنــاك مجال كبير لمزيد من الصقــل. لذا لا يمكننا أن نتوقــع انخفاضاً كبيراً في التكلفــة لكل وحدة من الطاقة. ومــع ذلك، فإن العائد لا يزال أقل من نصــف الناتج من الخلايا الضوئيــة الحديثة عند نشرها على نفس المنطقة من الأراضــي[2]. إذا استمرت الخلايا الشمسيــة في التحسن، فسوف تتفوق على طواحين الهواء.

علــى الرغم من النمو المثير للإعجاب، لا تزال طاقة الرياح تشكل نسبة صغيرة فقط من إمــدادات الكهرباء في بلد واحد. تحمل الكثافة السكانية المنخفضــة والريــاح الدانماركية الرقم القياسي العالمــي، مع 20 في المئة من احتياجاتها من الكهرباء المولــدة بواسطة الرياح. وهذا يشكل تقريباً أكثر ارتفاع يمكنك الحصول عليها. فمن الصعب على نحو متزايد إيجاد مواقع

(1) The precise fraction is 16/27—the "Betz limit."

(2) A state-of-the art windmill averages 1.3 W per square meter of ground area، whereas photovoltaic cells generate 3 W/m2; see Smil،V. (2008). Energy in nature and society. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press.

مناسبة للمنشآت الجديدة، مما يعني أن المزيد من النمو سوف يضطر إلى أن يتحقق من خلال التحول إلى مواقع أقل مواتاة. ببساطة، لا يمكننا تصور أن يكون لدينا اقتصاد الرياح تقدم أكثر من نصف الطاقة الصناعية فيها من قبل طواحين الهواء، كما كان الحال في هولندا في القرنين السابع عشر والثامن عشر. طاقة الرياح، كما قلنا، هي تقنية ناضجة مع القدرة على توفير نسبة متواضعة من إجمالي احتياجاتنا للطاقة.

الطاقة المائية

البحث عن مواقع مناسبة أيضا قضية مهمة لتوليد الطاقة الكهرومائية. الخزانات اللازمة تتطلب مساحات كبيرة من الأراضي، ويؤدي بناء سدود لتوليد الكهرباء في كثير من الأحيان إلى تشريد السكان المحليين. واضطر ما بين 40 و 80 مليون شخص على الانتقال بهذه الطريقة في القرن العشرين. وإذا تمت مقارنة مساحة هذه الخزانات مع السلطة التي تساعد على توليد الطاقة الكهرومائية، يؤدي الأمر في كثير من الأحيان إلى استفادة أقل كفاءة من أشعة الشمس مباشرة. يحقق العديد من السدود فقط عشرة في المئة للمتر المربع الواحد من القوة الكهربائية التي توفرها الخلايا الشمسية. ولكن هناك اختلافات كبيرة بين النباتات المائية الفردية. وسوف تتطلب الخوانق الثلاثة التي يجري بناؤها حالياً في الصين مساحة أقل لكل وحدة من الناتج مما تتطلبه الخلايا الشمسية. خزانات الطاقة الكهرومائية هي أيضا صديقة للبيئة أقل مما تظن بسبب الغازات التي تنبعث منها.

غالباً ما تنتج النباتات المتعفنة كميات كبيرة من الميثان والغاز المسببة

للاحتباس الحراري– أقوى من ثاني أكسيد الكربون – في الغلاف الجوي. نتيجة لذلك، تساهم بعض السدود بقدر ما في ظاهرة الاحتباس الحراري في محطات الطاقة التقليدية التي لها إنتاج مماثل. العيب الآخر هو أن انخفاض القدرة على مر الزمن يخلف وراءه الكثير من الرواسب في الخزان. ويمكن للوزن الهائل من المياه أن يؤثر على التوازن الجيولوجي بطرق لا يمكن التنبؤ بها، مما يزيد من احتمال وقوع الزلازل.

لذلك، لا ينظر الجميع إلى الطاقة الكهرومائية كمصدر للطاقة المتجددة. كانت الأمور مختلفة جداً في الستينيات والسبعينيات عندما بنيت آلاف السدود على مرّ 500 سنة طوال هذين العقدين. في السنوات الأخيرة في الولايات المتحدة، تم تفكيك السدود أكثر مما تم بناؤها، إذ إن القيام بالأمر أسهل، إذ بدت كأنها ستستمر إلى الأبد. فشل العديد من بناة السدود النظر إلى هذه الخزانات كأنها ستنتهي، الأمر الذي يعدّ نمطا شائعا عندما يتعلق الأمر بإمدادات الطاقة لدينا، إذ نتجاهل ببساطة احتمال أن الأفكار والاحتياجات سوف تتغير. تبدو خزانات محطات الطاقة الكهرومائية مثل أحواض الاستحمام من دون المكونات. وبالتالي، يتعين الآن حفر الثقوب بمشقة عبر الجدران الخرسانية السميكة لعدة سدود توقفت عن العمل.

واحدة من الفوائد الكبيرة للطاقة الكهرومائية هي أنه لديها ساق تخزين قوية جداً في مثلث الطاقة. يمكن أن تساعد الطاقة الكهرمائية في تذليل تقلبات في استهلاك الطاقة. ويمكن استخدام خزان كامل لتوليد الكهرباء وقتما تشاء لأنه لا يمكن تنشيط التوربينات في بضع ثوان رداً على الطلب السائدة. لهذا السبب، تعتبر الطاقة المائية مثالية لعمل نسخ احتياطية

لإنتـاج توربينات الريـاح والخلايا الشمسيـة. إذا ماتـت الريح يموت أو حصـل ضعف في سحب أشعة الشمس، يمكن لشركة الطاقة الكهرومائية زيادة الإنتاج، وهو ما يعني أن الطاقة الكهرومائية قد تساهم في نمو غيرها من مصادر الطاقة الخضراء أيضا.

في اقتصـاد الطاقة التي تعتمـد أساساً على الطاقـة الشمسية وخزانات الميـاه، لا تخزن طاقة كافية لتشغيل مستوى التقلبات. لا يوجد ببساطة ما يكفـي من الجبال لتمديد هذه المهمة أبعد من ذلك بكثير. وقد يبدو القليل مـن المزيد من التوسع ممكنا بالفعل في المواقـع الأكثر جاذبية التي اتخذت في معظم المناطق باستثناء إفريقيا. ومع ذلك، يوجد للسدود وظيفة أخرى هامة. يمكن أن تساعد في تخفيف التقلبات في استهلاك المياه، الأمر الذي قد يضاعف جاذبيتها في البلدان الإفريقية، حيث تتوفر عدة مواقع واعدة. (انظر الفصل الأول).

الطاقة الحرارية الأرضية

تم تجاهـل واحد من مصـادر الطاقـة المستدامة بصـورة منتظمة، وربما بسبـب القوة المدمـرة التي يطلق لها العنـان كلما كان يأتـي إلى السطح. تقذف البراكين كميات هائلة من الطاقة في فترة قصيرة من الوقت وبشكل عنيـف جداً. هناك أماكن عـدة محظوظة في جميع أنحـاء العالم حيث يتم نقل الحرارة إلى أعلى الأرض بطريقة أقل اضطراباً في شكل الماء الساخن. في الفلبـين، على سبيل المثـال، يتم إنشاء ربع الكهرباء في البلاد من الطاقة الحراريـة الأرضية. وتصدّر إيسلنـدة الطاقة التي تستمـد من السخانات

الشهيرة. يمكـن العثور على هذا النوع من الحرارة تحت الأرض في مكان آخـر أيضا. لاستغلالها باستخدام التكنولوجيا المتاحة اليوم، يجب السعي لخلق السخانات الاصطناعية.

وقـد اقترحت عـدة مناهج (لنظم الطاقة الحراريـة الأرضية المعززة) من هـذا النوع. في تصميـم واحد، يتم ضخ المـاء البارد لأسفـل رمح الحفر خصيصـا حتى يغلي، ثم يتم إرجاع ذلـك إلى السطح في شكل بخار عن طريق آخر رمح. يجب أن تكون هذه المهاوي عميقة لتخترق أكثر من 10 كيلومترات تحت سطح الأرض.

تناسـب الطاقة الحراريـة الأرضية تماماً في البنية التحتيـة للطاقة الحالية. ويمكـن أن تستمـد قدراً كبـيراً من الطاقـة من مصدر واحـد، مما يجعلها وسيلة جذابة لتوليد الكهربـاء. وقد تم اختبار بناء السخانات الاصطناعية في فرنسـا وأستراليـا وسويسرا. ويتم تشغيـل أكبر مثال عليهـا تجارياً في إينامينكا–جنـوب أستراليـا. وقد ولدت بالفعل قوتهـا أولا وسوف تنتج 50 ميغـاوات بحلول عام 2012.بما فيه الكفاية لبلدة 50000 نسمة. الطاقة الحرارية الجوفية واعدة للغاية، والداخلية من الأرض هي مورد الطاقة على نطاق قادر على خدمة حضارتنا برمتها لآلاف السنين المقبلة[1].

(1) INL (2006). The future of geothermal energy: Impact of enhanced geothermal systems (egs) on the United States in the 21st century. Final Report to the U.S. Department of Energy Geothermal Technologies Program. (report number INL/EXT-06-11746). Also see Tester، J. W.، Anderson، B.، Batchelor، A.S.، Blackwell، D.D.، Pippo، di R.، et al. (2007). Impact of enhanced geothermal systems on U.S. energy supply in the twenty-fi rst century. Philosophical Transactions of the Royal Society A، 365(1853)، 1057-1094.

لكن لا تزال هناك تحديات كبيرة يتعين التغلب عليها. الحقن وتسخين المياه تسبب مخاطر الزلازل، وهو ما حدث بالفعل في سويسرا. كما أننا نفتقر إلى الخبرة عندما يتعلق الأمر إلى حفر الصخور كتيمة الساخنة مثل الجرانيت وشركات النفط التي تجنبت تقليدياً لأنها لا تحتوي على أي نفط. في ثالوث الطاقة، الساقين من التخزين والنقل متاحة بسهولة للحصول على الطاقة الحرارية الأرضية. مصدر الطاقة هو في الواقع الخزان الهائل الذي يمكن من خلاله استخراج الحرارة كما هو مطلوب. على عكس الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فهي متوفرة على مدار الساعة في جميع المواسم، ويمكن تنظيمها بسهولة. والتوزيع يناسب بسهولة في البنية التحتية في سلطتنا المركزية.

ومع ذلك، فإن محطة التوليد، أو في هذه الحالة الاستخراج، ليست ناضجة بعد. ولكن هذا قد يتغير. ويمكن لطفرة في تكنولوجيا الحفر والتقنيات أن تحول الحرارة إلى طاقة المستهلكة وبالتالي جعل كميات كبيرة من الطاقة متاحة في السنوات العشرين المقبلة. مصدر الطاقة هذا لا يظهر في سيناريوهات الطاقة طويلة المدى لأنها ليست اقتصادية ولا تتناسب مع استخدام التكنولوجيا في حاضرنا. لكن خفض التكاليف الجذرية ليست أمراً غير شائع عن التكنولوجيا الجديدة. ما هو أكثر من ذلك، توسيع نطاق هذه التكنولوجيا من شأنه أن يقلل التكاليف، كما يمكن إعادة استخدام العديد من الأدوات لحفر ثقوب. اقتصاد الطاقة الحرارية الأرضية ليست واعدة أقل من اقتصاد الطاقة الشمسية.

الطاقة النووية

مثل الطاقــة الحرارية الأرضية، للطاقة النووية ميــزة أنها تتوافق تماماً مع طرقنا المركزية الحالية لتوليد وتوزيع الكهرباء. ويتم إنتاج الطاقة على نطاق واسع كما في محطات توليد الكهرباء التقليدية، مما يعني أن زيادة استخدام الطاقــة النووية لن تفرض علينــا إعادة تنظيم الشبكــة. والطاقة النووية لا تسهم في الاحــترار العالمي أيضا. ومع ذلك، فــإن الوتيرة التي يجري بها تكليــف محطات جديدة لتوليــد الكهرباء بطيئة جداً لمواكبــة النمو الحالي في استهــلاك الطاقة. لمضاعفــة عدد ميجاوات تولدهــا الطاقة النووية في السنوات العشرين المقبلة، فإننا بحاجة لحوالي 1000 محطات جديدة لتوليد الكهرباء. وهذا يعني أن علينا أن نبني مصنع واحد في الأسبوع. ويتطلب منا خفض انبعاثــات الكربون ما لا يقل عن ثلاثة أضعاف الطاقة النووية، وزيادة حصة الطاقة النووية ستكون مكلفة للغاية. جعلت التكنولوجيات المتقدمــة المفاعل آمنة في أعقاب كارثة تشرنوبيل وجزيرة ثري مايل. وهذا النوع من توليد الطاقة أكثر كلفة مما كان عليه بالفعل. للحصول على وقود خال من الكربون في الاقتصاد على المدى الطويل، ينبغي علينا أيضا التبديل إلى الوقــود النووي الذي هو أكثر وفرة مــن اليورانيوم 235 المستخدم في معظــم المفاعــلات النووية. هناك نوع من المفاعل الــذي يعتبر فيه استنفاد اليورانيــوم أقل من مشكلة. تنتج مفاعــلات المربي الوقود الخاص بها، مما يعني أنها تعمل وفقاً لدورة وقود مغلقة. تعمل هذه المفاعلات بالطاقة من اليورانيوم 238 الأكثر شيوعاً. للأسف، وهذه التكنولوجيا هي أيضا مثالية لصنع قنابل نووية.

مفاعــلات المربي هي أكثر تعقيداً من أنواع المفاعلات التقليدية كذلك، ما يجعلها أكثر تكلفــة من محطات الطاقة النووية الأخرى. ويبقى الخوف من انتشار الأسلحة النووية جنباً إلى جنب مع التكاليف الباهظة للحصول على هذه التكنولوجيا بعيداً عــن الأرض. ونحن نلقي نظرة فاحصة على قضيــة الانتشــار، الآن، يكفــي القول إن بنــاء محطة التوليــد الهولندية في كلــكار- ألمانيا أثار احتجاج عنيــف لدرجة أنه لم يسمح به يوماً. تم تحويل الهيكل الخرساني في نهاية المطاف إلى متنزه يسمى النووية المياه العجائب. وكثيراً مــا يغفل عن ميزة واحدة رئيسية من مفاعــلات التوليد، وهو أنها يمكــن أن تكون مصممة بطريقة تقلل من إنتاج النفايات النووية. هذا يبرر المضــي في تطوير مفاعلات التوليد. ولكــن لكي تكون مفيدة على نطاق واسع، ســوف تكون هناك حاجة إلى تحقيق اختراقــات عديدة في سلامة المفاعــل. وبالتالي، فإن ثالوث محطــة توليد الطاقة يتطلــب إجراء بحوث كبيرة. بالإضافة إلى ذلك، تحتــاج محطة التخزين إلى عناية، إذ من الصعب أن تتعامــل محطات توليــد الطاقة النووية في كثير مــن الأحيان مع حمولة متغيرة.

ناقلات الطاقة

علينــا أن نعمل على كل هذه التقنيات الجديــدة لجعل الانتقال إلى حقبة أخرى للطاقة ممكناً. المهلة الزمنية لهذا النوع من التكنولوجيا طويلة جداً، لذلــك يتعين علينــا أن نبدأ على الفور. وسوف يتعــين علينا أن نعمل على تخزيــن وتوزيع تلك الطاقة كذلك. هذا واضح خصوصاً عندما نفكر في

استخدام الطاقة في السيارات والقطارات والطائرات. إذا كنا نريد أن نجعل النقل خالي من انبعاثات الكربون، سوف نحتاج إلى إيجاد بدائل للبنزين والديزل والكيروسين ووقود الطائرات. هذا هو موضوع الجزء الأخير من هذا الفصل. اختراقات هامة ضرورية هنا لأن البدائل القليلة المتاحة. في الفصل السابق، ذكرنا الوقود المشتق من المواد البيولوجية مثل الطحالب كحل انتقالي. في نهاية المطاف، يمكن ألا تنتج سوى كميات صغيرة من الوقود البيولوجي بطريقة مستدامة. هناك احتمالات أخرى قليلة والأكثر وضوحاً منها هو استخدام الكهرباء، ومعظم الأشكال المبتكرة من الطاقة التي ذكرناها في هذا الفصل تخدم لتوليد الكهرباء. ولكن من الصعب للغاية تخزين الكهرباء على نطاق واسع. محطة التخزين في ثالوث الكهرباء غير موجودة تقريباً، كما أن كثافة الطاقة للبطارية متخلفة كثيراً عن البنزين. والسعر لكل وحدة تخزين الطاقة لا يزال مرتفعاً للغاية. قد نكون قادرين على تخزين ما يكفي من القوة في البطاريات للسيارات الكهربائية، ولكن السفن الكبيرة والطائرات ستظل بحاجة إلى نوع آخر من الطاقة المحمولة الناقل لعدة عقود على الأقل.

والاحتمال الآخر هو لتجميع الوقود. الهيدروجين هو المرشح الأكثر وضوحاً، كما يمكن بسهولة أن يتم إنتاجه باستخدام الكهرباء، تماماً كما هو الحال في التجارب في الكهربائية في المدارس الثانوية. عندما يتم تمرير تيار كهربائي من خلال الماء، ويتم إعطاء الأوكسجين والهيدروجين قباله، لكن التحليل الكهربائي ليس فعالاً جداً. ويشير إلى فقدان 30–40 في المئة من الطاقة في هذه العملية. التكنولوجيا مكلفة أيضا وتحتاج النظم

الكهربائية إلى أن تصبح أرخص بكثير. الأمر الإيجابي هو أن الهيدروجين أسهل بكثير لتخزين الكهربــاء، الأمر الذي يغلق جانباً من ثالوث الطاقة. إنهــا خفيفة للغاية: يحتــوي 1 كيلوغرام من الهيدروجــين على ما يقرب ثلاثــة أضعــاف ما يستهلكه مــا يعادل ذلك مــن البنزين. وقــد تم اختيار وقــود الهيدروجين كسائل مكوك الفضــاء على وجه التحديد بسبب هذا الادخــار الكبير في الوزن. ويمكن الاستفادة في السيارات بنفس الطريقة. الهيدروجــين هو مفيد بشكل خاص للسيارات على الطرق عند دمجها مع خلايا الوقود. في عملية ذات كفاءة عالية، تولّد خلايا الوقود الكهرباء من الهيدروجــين الذي يستخدم بعد ذلــك إلى السلطة محرك كهربائي. خلايا الوقود هي أكثر كفاءة من محــركات الاحتراق الداخلي. ولكن قبل ذلك، ستكون هنــاك حاجة كبيرة لجعل خلايا الوقــود أرخص، وعلينا تخفيض نحــو 1 / 10 من سعرهــا الحالي. ويرجع جزء من التكلفة العالية إلى حقيقة أن الخلايــا تتطلب البلاتــين. التحدي العلمي لتطويــر تقنيات جديدة هو جعل خلايا الوقود أرخص وممكنة الإنتاج على نطاق واسع حقاً. ولكن لا يــزال أمامنا طريق طويل لنقطعه. مطلوب أيضا تقدم تقني في مجال تخزين الهيدروجين.

قد يكون الهيدروجين خفيفاً، لكنــه يأخذ مساحة كبيرة. الهيدروجين هو غاز مخلخل، مما يعني أنه يجب أن يبقى تحت ضغط عال على كمية كافية منه في خزان صغير. علــى المدى الطويل، يحمل الهيدروجين احتمالات نقل نظيفة حقــاً. ومع ذلك، سوف يكون من الضروري تحقيق اختراقات كبــيرة قبل أن تتمكــن من تحقيق حقاً حــول اخضرار التنقــل. التحديات

الرئيسية تكمــن في كفاءة الإنتاج والتخزين المضغــوط من الهيدروجين. هذا هو أحــد المجالات التي لدينا لاستكشاف أفــكار جديدة حقاً والتي تتطلب بحوث طويلة الأمد. ويمكن الاطلاع على أفكار جديدة في طليعة البحوث الكيميائية.

ويقترح يوهانس ليرشر، أستاذ التكنولوجيا الكيميائية في جامعة ميونيخ للتكنولوجيــا، تقنيــة جديدة تحول الفحم إلى هيدروجــين. تم العثور على الفحــم في كثير مــن المواقع أكثر من النفط، وقال إنــه يلاحظ أن (هناك ما يكفــي من الكربون الأحفوري لحــوالي 600 إلى 1000 سنة أخرى. لذلك نحن بحاجة لتطوير التكنولوجيا اللازمة لتحويل الفحم إلى مصدر للطاقة المستدامــة. المشكلــة مع الفحم هو أنه غلة أقل مــن الطاقة لكل وحدة من الكربون إمــا من النفط أو الغاز الطبيعي. لذلك لأول وهلة، ليس بالضبط مصــدرا للطاقــة التي يمكــن أن تخدمنا في حقبة ما بعــد الكربون. وتقوم شــركات الطاقة بتطوير تقنيات لالتقاط ثــاني أكسيد الكربون وضخه مرة أخــرى إلى أرضــ الواقع، ولكن هــذه العملية مكلفــة وكثيفة الاستهلاك للطاقة).

يقــترح ليرشــير تقنية ثورية لمعالجة الفحم في حــين لا يزال تحت الأرض عــن طريق بناء نوع من مصنع للمواد الكيميائية في أعماق التماس نفسه. (الفكــرة هي لتغــزز الفحــم في الموقع، وخلــق الهيدروجــين وغاز ثاني أكسيــد الكربون، الذي يمكن فصلهما عبر استخــدام منقي (فلتر). يوجه الهيدروجــين إلى السطح ويترك ثاني أكسيد الكربون تحت الأرض). وقد بــدأت شركات النفــط بهذه التجارب فعليــاً. أولاً، عليك أن تجعل الفحم

مسامياً بحيث يمكنك أن تغوزه تحت الأرض. طريقة واحدة لفعل ذلك، يقترح ليرش، هي عبر استخدام الموجات فوق الصوتية. مشكلة أخرى هي درجة الحرارة العالية المطلوبة للتحويل. تماس الفحم تحت الأرض هو عموماً أقل من 100 درجة، في حين يتطلب تغويز درجات الحرارة التي تتجاوز 300 درجة. (يمكنك الحصول على ذلك عبر خفض درجة الحرارة باستخدام المواد الحافزة. إذا كنا نود الحصول على الوضع المناسب، يمكن للمحفزات تؤدي إلى تحقيق انفراج في هذه التكنولوجيا. يمكننا من ثم تحويل الفحم إلى هيدروجين تحت الأرض، الأمر الذي سيكون رائعاً). المحفزات هي المواد التي تسهل التفاعل الكيميائي دون أن تخضع لأي تغيير أنفسها. إنها تمكننا من تنفيذ عمليات في درجة حرارة أقل أو أكثر راحةً وعمقاً تحت الأرض، لأنها قد تساعدنا في إنتاج الهيدروجين[1].

ومن الواضح أن هذا الخيار لا يزال بعيد المنال، لكنه يعد بكفاءة أعلى لإنتاج الهيدروجين من التي يوفرها التحليل الكهربائي. ويقترح ليرش خيار لتخزين الهيدروجين مستوحى من بحوث زملائه الدانماركيين. في جامعة لينجبي، وضعت فكرة لتخزين الهيدروجين[2]. طالما أنه من الصعب لتخزين الهيدروجين في حجم صغير، وبالتالي، إلى أن تأخذه معك، سوف يبقى استخدامه محدوداً. يجب أن يصبح الهيدروجين أكثر

(1) Bell، A. T.، Gates، B. C.، and Ray، D. (2007). Basic research needs: Catalysis for energy. Report from the U.S. Department of Energy Basic Energy Sciences Workshop.
(2) Klerke، A.، Christensen، C. H.، Nørskov، J. K.، and Vegge، T. (2008). Ammonia for hydrogen storage: Challenges and opportunities. Journal of Materials Chemistry، 18(20)، 2304–2310.

كثافــة قبل أن تتمكن مــن التدفق مع فرصة للنجاح مــن خلال مجتمعاتنا. طريقــة واحــدة لجعــل الهيدروجــين أكثر كثافــة هي إدراجــه في جو من الجزيئات.

يمكــن علــى سبيل المثــال تخزين الأمونيــا في شكل أكثر كثافــة بكثير من الهيدروجــين. محتوى الهيدروجين هو ثلاثــة أمثال الهيدروجين التي يخزن تحــت ضغط عال جداً من 300 بار. صنع الأمونيا من النيتروجين في الغلاف الجــوي للأرض هو واحد من أقــدم العمليات والأكثر انتشــاراً والأمثل في الصناعات الكيميائية، وهذه العمليات تنتج الآن 100 مليار كجم من السماد سنويا. يتــم تحرير الهيدروجين بمجرد أن يتحلــل الأمونيا مرة أخرى، الأمر الــذي من شأنــه أن يجعل الهيدروجين متوفــراً في شكله النقي بحيث يمكن حرقه أو استخدامه في خلايا الوقود لتوليد الكهرباء. قد يفرج عن النيتروجين الناتج بسلام مــرة أخرى في الجو، أو يمكن إعادة استخدامه في دورة جديدة لتخزين الطاقة. وقد تكون كفاءة هذه الدورة حوالي 80 في المائة.

والأمونيا مادة سامة جداً وغير مناسبة للنقل. ولكن يمكن أن تؤخذ فكرة دمج جزيئات الهيدروجين في جو أوسع نطاقاً. ويمكن أيضا أن يكون جنباً إلى جنب مع الهيدروجين غاز ثاني أكسيد الكربون. يتابع الكيميائيون في مدينة روستــوك الألمانية هذه الفكرة[1]، التي هي أكثر تعقيداً من استخدام النيتروجــين لأنه ليس لدينا حتــى الآن أي تكنولوجيا لاستخراج غاز ثاني

(1) Loges، B.، Boddien، A.، Junge، H.، and Beller، M. (2008). Controlled generation of hydrogen from formic acid amine adducts at room temperature and application in H2/O2 fuel cells. Angewandte Chemie International Edition، 47، 3962–3965.

أكسيد الكربون من الهواء مباشرة مع كفاءة كافية. الصعوبة تكمن في تركيزه منخفض، فإنه لا يشكل سوى 0.038 في المئة من الهواء في الغلاف الجو، بينما يشكل النيتروجين 78 في المئة. ولكن من الممكن استخراج غاز ثاني أكسيد الكربون من العوادم في محطات توليد الكهرباء. ويتم الآن في بعض هذه الأماكن لالتقاط وتخزين الكربون للحد من انبعاث ثاني أكسيد الكربون.

ولكن بدلاً من تخزينه تحت الأرض في مكامن الغاز الفارغة، ويمكن أن يعطى الكربون المحتجز حياة ثانية كما ناقل الطاقة. في مرحلة لاحقة من التطور، يمكن استخلاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الجو. ويمكن تحويل الهيدروجين وغاز ثاني أكسيد الكربون إلى حمض الفورميك. ولطالما كان رد الفعل هذا مدروساً، والإجراءات الفعالة متوفرة. إنها تنتج السائل الذي يمكن تخزينه بسهولة ونقله لأنه يحتوي على الهيدروجين مرتين بقدر ضغط الهيدروجين تحت ضغط شريط 350. وهو قابل للاشتعال أقل من البنزين أو الإيثانول. كما أنه ليس ضاراً ويسمح به بكميات صغيرة كمادة مضافة للغذاء في الولايات المتحدة. للإفراج عن الهيدروجين مرة أخرى، يمكن أن يتحلل حمض الفورميك إلى الهيدروجين وغاز ثاني أكسيد الكربون.

الخطوة الإضافية هي تحويل أول أكسيد الكربون مع الهيدروجين لمثل البنزين والمحروقات، ومن شأنها أن تغلق دورة الكربون. عن طريق حرق الوقود، نحصل على ثاني أكسيد الكربون الذي يمكن أن يتحول بدوره إلى وقود. ويعود في نهاية المطاف ثاني أكسيد الكربون المستخرج من

الهـواء إلى الهـواء. سيكون هناك تكلفة من الطاقـة، بطبيعة الحال، ولكن يمكن إنشاء هذا مع الخلايا الشمسية ومصادر الطاقة الحرارية الأرضية، أو التقنيات المستدامة الأخرى.

قـد يغلق الوقـود الاصطناعي ثالـوث الطاقة، ويوفـر إمكانية للتخزين والنقل. اخترعت عملية تصنيع الوقود الاصطناعي في ألمانيا في التسعينيات لإنتاج الوقود المصطنع على أساس تغويز الفحم، الأمر الذي يعني أنه لم يعد مـن داعي لألمانيا لاستيراد النفط. في أيامنا هذه، يتم استخدامه على نطاق واسـع لإنتاج الوقود السائل من الغاز الطبيعـي أو الكتلة الحيوية. ويتمثل التحـدي الوصول إلى نفس المستوى من الانتقائية والكفاءة والمرونة الذي حققناه خلال قرن من تطور الكيمياء البترولية الأحفوري.

لا يـزال هناك الكثير مـن التطور اللازم قبل أن يتـم وضع هذه الأفكار موضـع الممارسة على نطاق واسـع. ولكن عناصر كثـيرة متاحة بالفعل. بالتأكيد، ليس استخدام الهيدروجين خياراً يمكننا أن ننفذه غداً. في الفصل السابق، أبرزنـا صعوبة الانتقال إلى وقود جديد تمامـاً مثل الهيدروجين. قد يكـون، مع ذلك، إمكانية أن يكون على المـدى الطويل، شريطة أن لا يمكـن تحقيق اختراقات اللازمة. لكن بعد عشريـن عاماً من الآن، سيكون ممكنـاً أن تكـون الطاقة المتجـددة العنصر المهيمن داخل إمـدادات الطاقة لدينا. لذلك، الصعوبـات في زيادة تكنولوجيات الطاقة الجديدة وإغلاق الثلاثيـات الطاقة كبـيرة جدا. إغلاق ثلاثيات الطاقـة والانتقال إلى حقبة أخـرى للطاقة لا يكـون تدريجياً ولكن عملية متفاوتـة مدفوعة بمؤثرات الخارجية. وسوف تضطر لدفع المجتمـع إلى اهتمام مستمر بهذه المصادر

الجديدة للطاقة. هناك أيضا الكثير من التنمية التكنولوجية اللازمة لتحقيق كل هذا، وإدخال تكنولوجيات جديدة يتطلب جهداً ضخماً في الإبداع ورأس المال. وهذا يتطلب اتخاذ إجراءات جريئة من السياسيين.

الآن، هناك ما يكفي من الطاقة، وتغير المناخ لم يصل بعد إلى الدرجة التي تجعل العمل لا مفر منه. في كل مكان في العالم، لا يزال يجري بناء محطات جديدة لتوليد الطاقة التي تعمل بالفحم. هذا هو برهان رهيب عن اللامبالاة السياسية. إذا كان لنا أن ننجح في عكس تلك اللامبالاة، فإن هناك مجالاً واسعاً للنمو جديدة. في رأينا، قد يتم تأمين الاحتمال الأكبر على المدى الطويل من جانب الطاقة الحرارية الأرضية في تركيبة مع الطاقة الشمسية وتكملها طاقة الرياح. ويمكن لعمليات كيميائية جديدة ثم تغلق ثالوث الطاقة. إذا لم ننجح، سنترك لأحفادنا أسباباً للقلق. الطاقة هي أساس كل ما نقوم به، وليس فقط طاقة الإنتاج أو النقل، لكنه أيضا الطاقة كمادة وسيطة في العمليات الكيميائية التي تنتج كل شيء من البلاستيك إلى المستحضرات الصيدلانية. والإمدادات المستمرة من الطاقة هي واحدة من أكبر التحديات التي تواجه البشرية.

5 - المواد المستدامة

يقع مصنع سيارات (فولكس واجن) الجديد أكثر أو أقل في وسط مدينة درسدن، ألمانيا. من خلال غلافه الزجاجي، يمكنك مشاهدة الميكانيكيين من الشارع حيث كانوا يعملون في خط الإنتاج. في آخر طابق، ينشر

الروبوتات الرذاذ على الهيئات السيارة بألوان مشرقة دون أن يدفقوا نقطة واحـدة من الطلاء على أي من النوافـذ الأخرى. في القرن العشرين، كان مـن المعتاد دفع المصانع خارج حـدود المدينة لأنهم كانوا شديدي القذارة جـداً لتبادل البيئـة الحية. اليوم تعود مصانع نظيفـة وجذابة ومدمجة لتشق طريقها. وتجـد طريقها إلى الوراء. وقد وصلت تقنيـات الإنتاج إلى حالة من الكمال بحيث إننا متحمسون لتتم رؤيتها. تقف المصانع والمنازل مرة أخرى جنباً إلى جنب. على بعد مئات الكيلومترات في (لايبزيغ)، حققت (البي. إم. دبليو). هذا النوع من التصنيع الحديث والنظيف.

ويمـر خط الإنتاج الجديد في مصنع الشركة مباشرةً من خلال الكافتيريا. وتطفو السيارات فوق الجداول بينما يقدّم طعام الغداء في الأسفل. تقنيات الإنتـاج في صناعة السيارات في الوقت الحاضر نظيفة مثل تلك الشركات التي توفّر الغذاء للعمال.

السيـارات ليست سـوى مثال واحد، ولكنها رمـز لصناعتنا. وقد ساهم كل تفصيـل أخيرة من عملية إنتاجها بصقلهـا. ولكن ما تزال نظافة الإنتاج سطحية فقط. إنها لم تسفر عن السيارة المثالية. على العكس من ذلك: تستمر المركبات في فرض عبء أثقل من أي وقت مضى على البيئة. يستغرق المزيد من المواد الخام الآن لإنتاج واحد مما كان عليه الأمر قبل 20 عاماً، والسيارات لا تزال تستخدم نفس الكمية من الوقود لكل كيلومتر يقومون بعبوره.

لا يمكـن للأمر ببساطـة أن يستمر إذا كنا لا نزال نريـد زيارة الأصدقاء على الجانب الآخر من البلاد على مدى عقدين من الآن. وهناك حاجة إلى اختراقات من شأنها أن تجعل السيارات أكثر توفيراً للطاقة وصديقة للبيئة.

والأمـر نفسه ينطبق على وسائل النقل الأخرى مثل القطارات والطائرات والسفن. وبصرف النظر عن مزيد من الاختراعات، سنكون بحاجة دوماً إلى المواد الجديدة، وأساليب البناء، وتقنيات الإنتاج إذا كانت الحدود هي حقاً في التحول. والسـؤال هو ما إذا كانت صناعتنا لا تزال لديها المرونة اللازمة لتحقيق أي اختراق من هذا القبيل.

تبقى السيارة سيارة

وقـد استثمر المصممـون آلاف الساعات في كل مكـون من مكونات السيـارة الحديثـة، لإتقـان الشكل، واختيـار المواد، وتصنيـع حتى الجزء أصغر من ذلـك. ولكن عند القيام بذلك، فقد خسـروا القدرة على رؤية صورة أكبر. ويـرى (تون بيجيس)، أستاذ المواد في جامعة (كوين ماري) في لنـدن، أن هذا الأمـر غير مفهوم. ويضرب مثـلاً بتقنيات اللوحة: في أحـدث مصانع السيارات، يرشـ الروبوتات الطبقـة النهائية من الطلاء، لامعة وبدقة متناهية.

تشحـن السيارة كهربائياً بحيث يتم تطبيق الطلاء بالتساوي على هيكل السيـارة. (لقـد تم تحسين الأمر وصـولاً إلى أدق التفاصيل، والنتيجة هي سيـارة الومضات إيجابـي. ويمكن أن يتم ذلك بشـكل مختلف مع تكلفة أقل بكثير وأثر بيئي أقل، ولكن ذلك يعني تغيير كامل في عملية الإنتاج). ويمكن تصنيع لوحات الجسـم للسيارات من اللدائن الحرارية ويمكن بعد ذلك خلطها مع اللون المطلـوب. ولكن لا يمكنك إدخال مثل هذا التغيير من خلال تعديل مجرد عنصر واحد من عملية الإنتاج. يمكن بعدها للجمعية

بأكملها أن تتغير – متطلبة نوعاً من إعادة التنظيم الأساسية التي لا يمكن أن تتحقق إلا مـن خلال بناء مصانع جديدة تماماً. وبالفعل، لقد حدث الأمر في الواقـع: لقد بنى مصنّع السيارات الألمـاني دايملر الألمانية مصنعا بعلامة تجاريـة جديدة لتصنيع نموذجها الذكي، والذي يحتوي على عدد كبير من الألواح البلاستيكية الجسم.

إنهـا استثمارات كبـيرة، وخصوصاً عندما لا تكـون متأكداً ما إذا كان المستهلكون سوف يقبلون بسيارة تبدو على هذه الدرجة من الاختلاف. (استخـدام الألواح البلاستيكية الملونة يـؤدي إلى نتيجة لم نعتد رؤيتها في السيـارات)، يوضـح بيجيـس. (كما أنه صعـب للغايـة أن يتناسب لون اللوحـات مع المكونات المعدنية، وهذا هو السبب في استخدام السيارات الذكية عمداً عناصر من البلاستيك ذات لون مختلف تماماً).

تبني شـركات صناعـة السيارات في الوقـت الحاضر أنـواع مختلفة من السيـارات على خطوط الإنتاج نفسها، ولكن هذا لا يعني أنه يمكن إجراء تغيـيرات بسهولـة. على العكس مـن ذلك، فإنه يشكل قيـود لا يمكن أن تكون مرنة. ويوضح تخطيط مصنع (البي. إم. دبليو) الجديد في (لايبزيغ) كيـف يتم تنظيم الإنتاج بصرامة. النمـاذج المختلفة المبنية في خط إنتاجها بالطريقـة نفسهـا بالضبط، في نفسـ الترتيب، حتى لـو كانت المكونات مختلفـة. لكل سيارة لونهـا، لوحة القيادة الخاصة بهـا، أسلاكها الخاصة، ومقاعدها في المكان نفسه، وسيبقى الأمر على حاله على مدى 10 سنوات مـن الآن، على الرغم من أن نماذج مختلفة ستكون بلا شك متداولة خارج الخط بحلول ذلك الوقت.

لا يوجد للمهندس الذي يود إدلاء الأسلاك في هيكل لا يوجد لديه فرصة لرؤية الأمر منجزاً، والأمر مماثل للمصمم الذي يريد تصنيع الشاسيه والجسم كوحدة واحدة. ومن شأن التغيرات الطارئة كهذه أن تغيّر في تسلسل العمليات التي تحكم بها تلقائيا. يتم عموما إصلاح مبادئ الصنع قبل أن يتمكن المهندسون حتى بالتفكير في النموذج التالي من السيارة.

حتى أن مصنعاً ذا علامة تجارية جديدة يميل إلى تبني أفكار أسلافه مع تغييرات جوهرية قليلة. من المستغرب أن شيئاً لم يتغير منذ قرر (هنري فورد) إقامة خط إنتاجه الأول. وبالكاد يتم تفحص أنواع جديدة من المحركات لأن البنزين والديزل من التصاميم المتطورة لأكثر من قرن من الآن. تخيل كيف قد يبدو محرك (ستيرلينغ) اليوم إذا كان العالم بأسره قد خصص الوقت لتحسينه.

يحيد المهندسون فقط من أدلتهم عند الضرورة القصوى. يتم تمرير الخبرات وتطويرها بشكل مستمر، مما يجعلها تدريجياً أكثر صعوبة في اتخاذ مسار بديل. هذا النقص في المرونة بمثابة سحب على تطور هذه الصناعة. وقد تمّ تثبيت الطريقة التي صنّع بها (الكاريس) خلال العقد المقبل. يمكن فقط تغيير مكوناتها الفردية وبالتالي هذا ما يركز عليه مصممي السيارات.

التنوع ليس دائماً جيداً

هذا التركيز على المكونات الفردية يعني أن السيارة أصبحت خليطاً من المواد والتقنيات. تم استبدال الكثير من المعدن بالبلاستيك، الذي هو

أخف وزناً وأرخص في كثير من الحالات وأسهل في التصنيع. ويشير (تون بيجيس) إلى أنه يتم اختيار نوع مختلف من البلاستيك لكل مكوّن: (غالباً ما تتضمن السيارات مكونات مصنوعة من 25 نوعاً مختلفاً من البلاستيك أو حتى أكثر، مما يجعل من الصعب إعادة تدويرها. إننا نحرز تقدماً في هذا المجال، وهذا الرقم يميل إلى أن يكون محدوداً في السيارات الحديثة. بالرغم من ذلك، كانت السيارات الصلبة أفضل بكثير في هذا الصدد. كان لديك مادة واحدة يمكن أن تذوب في الأسفل ويعاد استخدامها. نحن بحاجة إلى الحد من هذا التنوع، وإلا سوف تظل إعادة التدوير معقدة للغاية).

حتى الآن، لم يتحقق سوى نجاح محدود في هذا الصدد. تحاول شركتا (أودي) و(جاكوار) تطوير السيارات التي يتم بناؤها بشكل كبير من الألومنيوم، ولكن هذا المعدن باهظ الكلفة جداً، ويخدش بسهولة. وتعمل (البي أم. دبليو) و(المرسيدس) على تصنيع السيارة التي لا تستخدم سوى بضعة أنواع مختلفة من البلاستيك. حتى ذلك الحين، تبدو الاستثناءات المتكررة ضرورية، مثل تعزيز البلاستيك الذي يحتوي على الألياف الزجاجية في أماكن معينة. ومن الصعب بالتالي إعادة تدوير المواد الناتجة.

من جانبها، تعلّق (تويوتا) آمالها على البلاستيك والمواد المركبة القابلة للتحلل، الأمر الذي يعتبره (بيجيس) من السذاجة أيضا: (إنه لا يغلق الدورة المادية، وبذلك تفقد كمية الطاقة الموجودة في البلاستيك. ولماذا قد تريد سيارة في نهاية حياتها السماد؟ لا أحد لديه أدنى فكرة عما سنفعله مع هذا المبلغ من المواد القابلة للتحلل. إنها مليئة بالإضافات التي

لن يرغب المزارع في الحصول عليها على أرضه. عليك أن تفكر بهذه الأشياء بشكل صحيح، وإلا فلا جدوى).

التنوع من المواد في السيارات يتزايد بشكل مطرد. ويعمل الخبراء على تطوير المواد التركيبية المتخصصة أكثر من أي وقت مضى، ويوضح بيجيس: (إنهم يعملون على الألياف الصناعية التي تتسم بالشفافية، والمقاومة للحريق، قوية أو خفيفة، أو التي تقدم مزيجاً من هذه الخصائص. ويتم الاتجاه نحو المضافات الذكية التي يمكنك استخدامها في كميات صغيرة لضبط خصائص المادة بدقة وفقا لعنصر معين تريد تصنيعه. ولكن هذا يعني أنك لا يمكن إعادة تدويرها بعد الآن. فمن الممكن، ومع ذلك، تغيير الخصائص الفيزيائية للدائن دون تغيير تركيبتها الكيميائية. هذا هو أفضل حل).

يذكر بيجيس نوعاً من (البولي بروبلين) المطوّر في بداية هذا القرن. ويتعزز ذلك مع الألياف التي هي في حد ذاتها مصنوعة من (البولي بروبلين). هناك احتمال آخر لإنتاج الألياف الأرقّ عبر حوالي (النانومتر). في هذه الحالة، تحتاج إلى عدد أقل من المواد المضافة لتحقيق القوة ذاتها. في هذه الحالة، تحتاج إلى كمية أقل من الألياف وأضاف مما يسهّل إعادة التدوير.

مواد أخف تعني سيارات أثقل

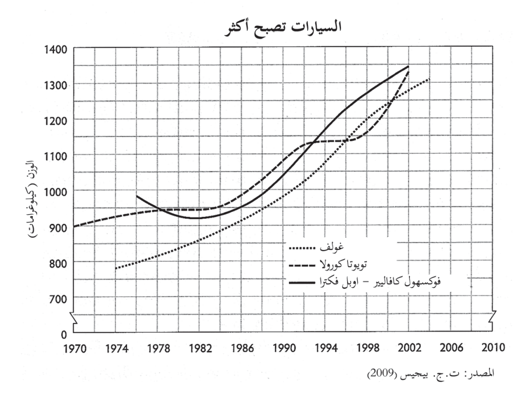
نتيجة لذلك، فإن أداء السيارة ككل لم يتحسن. النمط أكثر وضوحاً عندما نقارن أجيالا مختلفة من نفس الطراز. ويتم إنتاج بعض السيارات

علـى مدى عدة عقود، ممـا يسمح لنا بتتبـع تطورها من جيـل إلى آخر. أصبحت الأجـزاء المعدنية أرق بمرور الوقت، وأصبحت أساليب تصميم أكـثر ذكاء، وشهـدت نمـاذج كثـيرة تغيـيرات تدريجية من المعـدن إلى البلاستيـك. وتشمـل الميزات الجديـدة عازلا للصـوت، مقعدا للتحكم كهربائي وتوجيه السلطة.

تم زيادة السلامة من خلال تعزيز هيكل السيارة عن طريق إضافة أحزمة المقاعـد والوسـادات وأكياس الهـواء. عندما أصبحت السيـارات أثقل، باتـت بحاجـة إلى تحسين الفرامل والمحركات الأكثر قـوة، التي تزن أكثر أيضا. وكانـت السيارات في أوروبا تكتسب الوزن بمعدل من 4 كلغم في السنـة. على مدى فترة 20 عاماً، اكتسبت (تويوتـا) (كورولا) و(فارس) (فوكسهـول) (فيكترا) (أوبل) أكثر من 40 في المئة في الوزن واكتسبت ما يصـل إلى 50 في المئة. وارتفع شرط السلطـة وفقاً لذلك. عندما تتضاعف سيـارة في الوزن، تستخدم تقريباً ضعـف كمية الوقود، فتضيع بذلك كل مكاسـب فعالية تقنية المحرك. لهذا السبب، لا تـزال السيارات تستخدم نفس الكمية من الوقود للكيلومتر الواحد كما فعلت قبل 10 سنوات على الرغم من كل هذا التقدم التقني في مجال تكنولوجيا المحرك[1]. وقد ارتفع إجمالي استهلاك الطاقة في الواقـع: هناك المزيد من السيارات، وجميعها تستهلك كيلومترات أكثر على مدار الساعة سنوياً.

---

(1) Data from Ton Peijs.



المصدر: ت.ج. بيجيس (2009)

(علينا أن نكسر هذا الاتجاه نحو السيارات الأثقل)، يصر (بيجيس). يضيف (سيكون اختراقاً حقيقياً إذا ما تمكنا من إنتاج سيارات أخف وزناً وأسهل في السنوات الـ 20 المقبلة، وعكس اتجاه دوامة من زيادة الوزن. هيكل السيارة أخف وزناً يعني أنه يمكن أن تكون المحاور والعجلات والمحركات أيضا أخف. يمكنك فعلاً خفض وزن السيارة. أقل وزناً يعني انخفاض استهلاك الوقود، وتحسين التسارع، وسرعات أعلى. على نطاق عالمي، فإن ذلك سيوفر كمية هائلة من المواد والطاقة، وسيؤدي أيضا إلى تصنيع سيارات أفضل).

تعلمت الطبيعة التحلي بالذكاء

وقد حول الكثير من المهندسين في البيولوجيا باعتبارها مصدراً محتملاً للتغيير. (إنها ملهمة للغاية للنظر في الطبيعة)، يؤكد تون بيجيس، مشدداً على أن (الطبيعة ذكية). محاكاة العالم الطبيعي أصبح شيئاً مشاعاً بين المهندسين، الذين في حاجة ماسة لمعرفة كيف يزحف اليسروع، وكيف تنحني الأشجار، وكيف تتحرك الحشرات. وقد وجدت الطبيعة حلولاً

أنيقة لجميع أنواع المشاكل التقنية مع الأقوى والأخف وزناً والأشكال المستدامة أكثر، واقتصاد كسب المعركة من أجل البقاء. هذه الحلول المتطورة على مدى ملايين السنين هي دائماً أفضل صديقة للبيئة. وقد مات أي شيء سفلي على طول الطريق. فلماذا إعادة اختراع العجلة؟ يشير بيجيس إلى الأصداف البحرية كمثال على ذلك، إذ يتكون 5 بالمئة فقط من القذيفة من البوليمرات، وتتشكل البقية مع من حولهم من الطباشير وغيرها من المعادن. معاً، النتيجة هي 3000 مرة أقوى من الطباشير العادية.

(نحن بعيدون عن هذا، بل من الصعب للغاية نسخه) يعترف بيجيس. (القشريات، والطحالب، والأشجار في كثير من الأحيان تنتج مواد أفضل مما نحن قادرون على الإنتاج. لهذا السبب نحن بحاجة إلى أن نتعلم من الطبيعة). الطبيعة تبيع أيضا. ويعلن مصممو (مرسيدس) أنهم استلهموا من أحد أنواع الأسماك، وقد استخدمت (البي. أم. دبليو) سمك القرش لتسويق تحسينها المبسّط. وفي الوقت نفسه، تسلط (أوبل) الضوء على أوجه التشابه بين الطريقة التي تنمو الأشجار ونظام تعليق المحرك التي وضعته لمجموعة (أسترا) والخمسين. يسوقون عجلة سيارة مستوحاة من أرجل المتسلق الرئيسي، الضفدع الشجرة. غالباً ما تكون أوجه التشابه مع الطبيعة سطحية بعض الشيء، لكنها تجعل التسويق واضحاً بشكل جيد.

التقليد العبودي

(تحاكي الطبيعة في بعض الأحيان الحلول الذكية بطريقة غير ذكية،) يعترف تون بيجيس. (غالباً ما يركز المهندسون على محاكاة الطبيعة بدلاً

مـن التركيز على دراسة مبادئها الأساسية والأساليب ومن ثم تطبيقها على التصاميم الخاصة بهم. ولكن هذا ما عليك القيام به إذا كنت تريد الذهاب لاتخاذ الأفـكار من الطبيعة واستخدامها في سيـاق مختلف. إنها أكثر من مجرد التقليد العبودي.

تختلف طريقة عمل الطبيعة عن طريقة المهندسين الذين يفضلون التفكير مـن حيث الخصائص الفيزيائيـة، اختيار المواد وفقاً لقوتهـا، مرونتها، أو مقاومتهـا للتآكل. وهـم يرغبون في استخـدام المواد عاليـة الأداء لإنتاج منتجـات ذات جودة عالية، في حـين أن خصائص المواد الطبيعية في كثير من الأحيان أكثر تواضعا من ذلك بكثير.

تركـز الطبيعة على تقنيات التصميم الذكي بـدلاً من التركيز على الأداء العـالي، فهـي تأخذ مواد ضعيفـة وتجعلها جامدة، على سبيـل المثال، من خـلال إضافة تعزيزات في البقاع على وجـه التحديد الصحيح. (الشكل أرخص من المـواد)، يقول بيجيس. ويضيف (هـذا مبـدأ طبيعي هام. تستخـدم الطبيعة المواد التي يمكن أن نقول عنها سفلية وتضعها في قوالب يمكـن أن تعطيها خصائص متفوقة. يمكنـك الحصول على أكثر من خلال التصميم الذكي عن طريق تطوير مواد أفضل).

التعقيد هو مبدأ آخر الطبيعة. يذكر بيجيس مثل العظام: (يبنى كل شيء فيها. تتّبع الشفاء الذاتي ولديها جزء لا يتجزأ من أجهزة الاستشعار، وهي مبنيـة بدقة متناهيـة الصغر باستخـدام الألياف لتعزيز قـوة إضافية حيث الحاجـة إليها. يمكن أيضا تنظيـم هيكلها إلى سبعـة مستويات هرمية، مع كل الآليـات المختلفة التي تحدد خصائص العظام وخاصة في هذا النطاق،

وجميع العناصر مترابطة ترابطاً وثيقاً).

سيكون إنجازاً كبيراً إذا استطعنا محاكاة ذلك. تملك موادنا كحد أقصى ثلاثة مستويات من حيث الحجم وهي الأمثل في كثير من الأحيان من حيث خاصية واحدة مثل الصلابة أو القوة. هذا ولا تعتمد الطبيعة على وصفة واحدة لإنتاج هياكلها. بدلاً من ذلك، يمكن أن ندعو مجموعة متنوعة من الحلول لا يمكن تخيلها تقريباً.

تحاول الطبيعة الخروج بتصاميم بديلة عن طريق الطفرات العشوائية. كما رأينا، يملك البشر طرق تصنيع موحدة إلى حد الآن تنتج السيارات في نفس الطريقة تماماً، مهما كانت تبدو ومهما كانت خصائصها. تعلمنا الطبيعة أننا يجب أن نجعل الخدمات اللوجستية في مصنع للسيارات أقل صرامة بحيث يكون من الأسهل الخروج بمفاهيم تصميم مختلفة.

(الطبيعة هي اقتصادية، أيضا)، يضيف تون بيجيس. إذا أتت ببناء أخف، فهي تفعل ذلك على وجه التحديد من أجل جعل الكائن أخف وتمكينه من التحرك على نحو أسرع واستخدام كميات أقل من الطاقة. كلما جئنا مع قداحة مواد لتصنيع السيارات، وعلى النقيض من ذلك، علينا أن نغتنم الفرصة على أنها لحزمة السيارة مع الكماليات أكثر من ذلك.

على الجانب السلبي، يمكن للطبيعة أن تكون بطيئة، الأمر الذي يمثل التحدي الأكبر الذي يواجه المصمم على النظر إليها كمصدر للإلهام. يستغرق مثلاً شهراً كاملاً لنسج بنية دقيقة من الصدف، ولا يمكن لمصنع السيارات تحمل الانتظار كل هذا الوقت.

(إننا بحاجة إلى اتخاذ ما نراه في الطبيعة ومن ثم إعادة إنتاجه بمعدل

أسرع. خلاف ذلك، لا أهمية للأمر)، يضيف تون ويخلص إلى أن (التحدي الكبير هو تسريع تلك العملية البطيئة الطبيعية للخلق).

تستمر الطبيعة في التفوق علينا. إنها تنتج مواد وتستخدم مفاهيم البناء التي تعلو على منطقنا. وهذا يعني أننا لم نستنفد إمكانات التحسن، لكننا ذاهبون إلى الاستفادة من هذه الإمكانيات على نحو أكثر فعالية إذا كنا جادين في الأطروحات المختصة ببيئتنا.

6 - مصانع نظيفة

إذا سألت طفلاً أن يرسم مصنعاً، فعلى الأرجح أنك سترى صورة ضخمة لمداخن يتدفق منها الدخان الداكن. وقد يجد الراشدون صلات مثل الانفجارات والعقارات الصناعية جرداء وإهدار الطاقة والمواد الخام. فللمصانع الكيماوية والأنابيب التي لا نهاية لها والروائح الغريبة سمعة سيئة بشكل خاص عندما يتعلق الأمر بالتسبب بالضرر لأرضنا وللغلاف الجوي. وعلينا أن نعترف أن الكيمياء في أيامنا هذه بعيدة عن المثالية. ويصل عدد من الأخطاء في هذه الصناعة بحجمها الكبير. عليك فقط أن تنظر في محطات الطاقة لدينا أو المصانع التي تنتج المواد البلاستيكية: إنها تكبر مع مرور الوقت، وغالباً ما تحتاج منشآت تبريد ضخمة للتخلص من الحرارة الزائدة. هذه هي مجرد طريقة أخرى للقول إن استخدام الطاقة أكثر مما ينبغي.

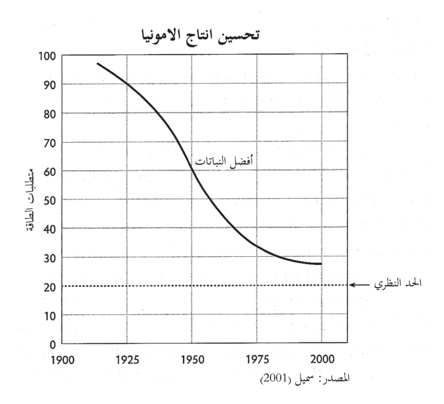
يزداد حجم المخاطر مع زيادة حجم المخاطر. يمكن أن تسير الأمور بشكل سيئ جداً في التثبيتات الكبيرة، ويمكن لتداعيات الحوادث الناتجة عنها أن

تكـون مأساوية. ولذلك، تعتبر السلامة سمـة أساسية عند تصميم المصانع، ولكنهـا من جهة أخرى تفرض قيوداً علـى عمليات التثبيت، مما يعني غالبا أن علينـا تشغيل العمليات بعيداً عن المثالية. المشغلون بحاجة للعب بطريقة آمنـة على حساب مواد إضافية واستهـلاك الطاقة. يجب أيضا إزالة شاحنة من المنتجات التي يمكن إزالتها في كثير من الأحيان في كميات هائلة، فيبقى بالـكاد أي غرض مفيد منها. في تقنيات التكريـر الكلاسيكية، على سبيل المثـال، من الصعب ضبط النسبة بـين المنتجات النفطية الخفيفة والثقيلة. إذا كنـت في حاجة إلى الكثير من البنزين، ينتهي بك الأمر مع وجود فائض من زيـت الوقود، أو العكس بالعكس. وقد كانت زيادة الحجم شعاراً للصناعة الكيميائية على المدى الطويل، لأسباب عدة فنية ومالية.

علـى سبيل المثـال، يعتبر الوعاء الكبـير أسهل للعزل مـن واحد صغير. وهنـاك حجج أخـرى لصالح النطـاق الواسع ومنها تكاليـف الاستثمار ومستويات الموظفين والصيانـة والتكاليف الإدارية واستخدام الأراضي. تقليديـاً، لطالما كانت هـذه العوامل أقل لكل وحدة مـن المنتج في مصنع كبير. حتى وقت قريـب، كانت دوما أكـبر المسائل حجمـاً أكثر مما هي مسألة الأكثر كفاءة والأقل كلفة.

ومع ذلـك، في أيامنا هذه، يصبح النهج الكلاسيكي شيئاً فشيئاً لا لزوم لـه، والمكاسب التي يمكن تحقيقها من خلال رفع مستوى تتضاءل باطراد، والخدمـات اللوجستية المرتبطة باستمرار أكـبر النباتات هي محيرة للعقل. المآخذ على النطاق هي البداية. أم فرقعات الإثيلين، على سبيل المثال، كبيرة جـداً في هذه الأيام لدرجة أن بناء تثبيت واحـد يعطل على الفور التوازن

العالمي بين العرض والطلب. يحتاج المنافسون إلى تسويق منتجاتهم وذلك بالاشتراك في توزيع القدرات بالتساوي وتجنب القفزات الكبيرة والمفرطة في الإنتاج. هذا واحد من الأسباب التي أدت إلى وجود خطوط الأنابيب الإيثيلين التي تربط مواقع الإنتاج في جميع أنحاء أوروبا.



الحجم مهم

يعني التقدم التقني أن مزايا المصانع الكبيرة لم تعد حرجة للغاية. أفضل تقنيات العزل، على سبيل المثال، يمكن أن تستفيد من منشآت بإخراج أصغر. بفضل التقدم في مجال الإلكترونيات والتشغيل الآلي للعملية، ليست أجهزة الاستشعار وأنظمة التشغيل فقط أفضل لكنها أقل تكلفة، مما يجعلها جاذبة للمنشآت الصغيرة. وهذا يعني أن الإنتاج في المصانع الصغيرة لم يعد تلقائياً ويتطلب المزيد من الموظفين. والممكن تماماً لفض حجم مصنع للمواد الكيميائية من دون التضحية بالكفاءة. للسفن الصغيرة ميزة إضافية وهي أنه يمكنك تقديمها إلى درجة الحرارة المناسبة

بشكل أسرع، كما ليس عليك تسخين حجم كبير. هذا أمر دقيق إذ تحتاج إلى تطبيق الحرارة فقط في المكان الذي يتم حدوث تفاعل كيميائي.

وحتى عندما يكون رد الفعل عنيف، يمكنك السيطرة عليه بسهولة أكبر على نطاق صغير. هذه الفوائد تميل إلى أن تصبح أكبر عندما يكون المصنع أصغر. فلماذا لا تنكس دوامة الحجم ونقلّص المعدات؟ ويمكن أن تكون العدة والعتاد الكامل للمنشآت الكيميائية أصغر من ذلك بكثير. يمكنك تصغير جميع السفن والأنابيب وأعمدة التقطير التي تشكل المواد الكيميائية النباتية وصولاً إلى حجم يدك أو حتى أقل.

في جميع أنحاء العالم، يعمل الباحثون بجد لإنشاء مصانع صغيرة، والفكرة هي أن تستخدم نفس تقنيات الحفر المجهرية التي نجدها في مجال الإلكترونيات الدقيقة. ومن الممكن الآن بناء الأجهزة إلى دقة ميكرومترات قليلة. هذا يفتح جميع أنواع الفرص الجديدة لتقليص حجم العمليات الكيميائية. النظم المجهرية التي تستخدم عادة لعزل عنصر إلكتروني واحد عن آخر تصلح تماماً لتحمل السوائل. ويمكن أيضا أن تكون أجهزة الاستشعار منقوشة على السليكون. حتى أنه من الممكن حفر هياكل صغيرة تتحرك على شريحة. وقد تم إطلاق هذه التكنولوجيا نظراً لحاجات بحوث الحمض النووي.

في التسعينيات، نجح التكنولوجيون بإدخال جميع التقنيات اللازمة لتحليل الجينات في رقاقة واحدة. وقد أتاحت لنا (الأنظمة على رقاقة) أن نحرك العديد من التجارب المعقدة اللازمة لإكمال تسلسل الجينوم البشري.

(كلاوس ينسن) هو واحد من الكيميائيين الرواد الذي أخذ على عاتقه هذه الفكرة وطوّرها خطوة أخرى إلى الأمام. حتى الآن، تم فقط تطبيق هذا النهج على المعدات المختبرية، والاختراق المقبل سيكون لاستخدامها في إنتاج المواد الكيميائية لإنشاء مصنع على مقياس من ورقة. وقد وضع جنسن، أستاذ الهندسة الكيميائية وعلوم المواد في معهد (ماساتشوستس) للتكنولوجيا، الهدف النهائي المتمثل في دمج جميع مراحل العملية الصناعية في مجموعة مترابطة من أجهزة كمبيوتر تشبه إلى حد كبير مع العرض الخاص، ووحدة المعالجة المركزية، وأجهزة التخزين. ويمكن أن يتم تنفيذ الانفصال عن عمليات مألوفة في مادة كيميائية نباتية كبيرة الاختلاط والتفاعل، ضمن (المصنع على رقاقة) من هذا النوع. يقول جنسن: إن مثل هذا النهج قد يمثل المصنع المثالي للمواد الكيميائية: (إن جعلتها حقا صغيرة، يمكنك التحكم في التفاعلات الكيميائية بالتنقيط. عليك أن تكون قادراً على تقديم بالضبط الكمية المناسبة من المواد الخام. يمكنك ثم إزالة رد فعل المنتجات على الفور من دون مزيد من التفاعل أو تشكيل المنتجات غير الضرورية. وسوف يكون المنتج النهائي أعلى جودة وأكثر استدامة لأنه سيتم استخدام مواد وطاقة أقل). وهذا مختلف جدا عن رد فعل كبير في مكان قمت بتفريغ كل شيء فيه دفعة واحدة، وحيث يتم ترك كثيراً من المنتجات وراء رد الفعل حتى النهاية[1].

(1) Jensen، K. (2001). Microreaction engineering—Is small better? Chemical Engineering Science، 56، 293–303.

نقاط كثيرة تصنع نهراً

النباتات الصغيرة أكثر أماناً بكثير من المنشآت الصناعية الكبيرة التي اعتدت علينـا، يضيف (جنسن): (حتى لـو فشلت المفاعل الصغـيرة، سوف يطلق سراح كمية صغيرة من المـواد الكيميائية فقط. سيكون من السهل احتواؤها ويمكــن استبدال الوحدة المعيبـة بسهولة). هذا إضافـة إلى جانب السلامة، الحجم الصغير سوف يسهل تنفيذ ردود الفعل في ظل الظروف المثلى.

(يمكن استخدام ظروف أكثر عدوانية. التفاعلات الطاردة للحرارة تميل إلى (الهـرب)، مما أثار سلسلـة من ردود الفعل التي تـؤدي في النهاية إلى الانفجار. هذه مسألة دائمة، على سبيل المثال، مع الأكسدة. يجب أن يتم التعامـل بعناية فائقة مع ردود فعل من هذا القبيل. وقد تم تصميم عمليات الأكســدة الصناعيـة بشكل متحفظ للغاية. علـى النقيض من ذلك، يمكن تشغيـل المفاعل الجزئية بشكل أقرب إلى نقطـة الهروب. في التثبيت على نطاق واسع، لن نتجرأ على القيام بذلك).

ويمكن أيضا أن يكـون استخدام الطاقة الزائدة على نحو أفضل على نطاق صغـير من النباتات الصغيرة. ويمكن الجمع بـين التفاعلات الطاردة للحرارة والامتصاصات للحرارة، مع الطاقة المنبعثة في رد فعل مندمج مع الآخر. ميزة أخرى للنباتات الصغيرة هي تماثل السوائل في رقاقة واحدة. ويضيف جنسن: (هذا لأنه من الأسهل بالنسبة لنا قياس ومراقبة العملية محلياً. يمكننا تحقيق قدر أكـبر من الدقة، مما يعني أننا سننتهي مع عدد أقل من المنتجات، ويمكن بذلك تجنـب ردود الفعل غير مكتملة. زيادة الدقة تتيح لك أيضا تنفيذ ردود الفعل التي لا يمكن القيام بها على نطاق أوسع. فإنها تتيح فرصة جديدة للتفاعلات

التي يصعب جدا على المعدات التقليدية إحداثها). وتعتبر العمليات اللازمة لإنتاج مواد مثل تفلون مثال جيد عن ذلك. التفلون هو مادة صلبة مع همود فريد من نوعه، وهي مقاومة لمعظم المواد الكيميائية وللحرارة. ولكن عملية الفلورة المستخدمة في صنعها طارد للحرارة. والنطاق الصغير الذي تقدمه فإن النباتات الصغيرة تجعل العملية أسهل للسيطرة.

يستشهد جنسن أيضا بتبلور السوائل المعقدة من قبل منتجي المستحضرات الصيدلانية. الشكل الدقيق لهذه البلورات أمر حاسم لنشاطها في جسم الإنسان، مما يعني أنها يجب أن يكون توليفها دقيقاً على وجه التحديد. وقد تنتج تقلبات طفيفة في درجة الحرارة نتيجة الضغط بشكل متكرر شكلاً مختلفاً تماماً للبلورات. توفر المفاعلات الصغيرة الأداة المثالية التي تكفل شكل بلورة الأكثر فعالية. إنها تسمح بالاختلاف المنهجي لأشكال الكريستال وتمكين وكلاء الأدوية الجديدة التي سيتم تصميمها واختبارها بسرعة. وقد أصبح هذا بالفعل منتشراً على نطاق واسع للتكنولوجيا المستخدمة لإتمام التجارب واكتشاف الخطأ في الأدوية.

بذلك، المستقبل للمصانع المصغرة مثل هو أكثر إشراقاً عندما نرى أن حجمها الصغير يخلق أيضا إستراتيجيات جديدة لطرح العمليات الصناعية. في إنتاج المواد الكيميائية الكلاسيكية، تتم التجربة الأولى بحذر في المختبر ثم يتم تحجيم الأراضي تدريجياً وعبر خطوة واحدة في وقت واحد حتى يتحقق الإنتاج الصناعي. في محطة صغيرة، يمكنك تخطي كل تلك الخطوات. لزيادة القدرات، تستطيع أن تقوم ببساطة برفع عدد من النباتات الصغيرة. يمكن القيام بذلك تدريجياً من خلال

وجود المزيد والمزيد من الأجهزة التي تعمل بشكل متواز. ويقول جنسن: (بـدلاً من بنـاء هياكل أكبر وأكـبر، سوف تكون مسألـة المزيد من الشيء نفسه، الأمر الذي من شأنه أن يجعل من الأسهل الاستجابة بسرعة وبمرونة مع التطـورات الجديدة في السـوق، أو لطلب المستهلكـين). بذلك، لن يكون من الضروري أن تركز جميع هذه الوحدات بشكل مواز في مكان واحـد: (عليك أن تكون قادراً على تثبيت النباتـات الصغيرة أينما تكون منتجاتها مطلوبة. وهو ما يعني أيضا أنك لن تضطر لنقل منتجات وسيطة مثل (السيانيد) السامة. يمكنك صنعها بالضبط حيث تمس الحاجة إليها).

الشـيء نفسه صحيـح بالنسبة للمنتجـات ذات العمـر القصير. يعطي جنسن مثـالاً على النقيضـ من السوائـل المستخدمة في المعـدات الطبية مثـل الماسحات الضوئية الدائـرة، والتي عادة ما تكـون قابلة للاستخدام فقـط لبضـع ساعات. (عبر استخـدام النباتات الصغـيرة، يمكنك أن تنتج الماسحات الضوئية الدائرة إلى جانب معدات)، يقول جنسن[1].

يمكـن حتى بنـاء النباتات الصغـيرة المدمجة في الأجهـزة المنزلية. ويمكن أن تنتـج الغسـالات المنظفات الخاصة بهـا التي يمكنهـا أن تمتص الصودا والمشروبـات الخاصة الليـنة. ويمكن أيضا أن تحل النباتـات الصغيرة نفس الموقـع مثـل المواد الخـام. هذا مـن شأنه أن يخلـق النباتات القـادرة مثلاً علـى تكرير النفط في حين لا يزال في البئـر. ويمكن معالجة الكتلة الحيوية بالقرب من الحقول التي تم زرعها. (إن المستقبل يكمن في النطاق الأصغر

(1) El-Ali، J.، Sorger، P. K.، and Jensen، K. F. (2006). Cells on chips. Nature، 442، 403-411.

والإنتاج الأكثر دقة أقرب إلى حيثما توجد حاجة إليه). خفض حجم النباتات الصغيرة يخلق أيضا إمكانية اتباع نهج مختلف تماماً في الخدمات اللوجستية. لدينا حالياً صناعة مركزية تدفعنا نحو إنتاج موحد ومعرض للانقطاع. والنباتات الصغيرة تمكننا من إنتاج على نطاق صغير، على مقربة من المستخدم النهائي، وقادر على التكيف بسرعة مع التغيرات في السوق أو مع المتطلبات الجديدة.

الإشراف على كل شيء

التحدي الحقيقي في مجال النباتات الصغيرة يكمن في الجمع بين أجزاء مختلفة من النباتات في تصميم واحد. الإجراء التقليدي هو البدء بالبحث في العمليات ثم تصميم المفاعل. في كثير من الحالات، السيطرة أكثر قليلا من مجرد فكرة طارئة. عندما يتعلق الأمر بمصنع جزئي، على النقيض من ذلك، كل شيء سيحتاج إلى الخلق دفعة واحدة. المفاعل هو عملية. وأجهزة الاستشعار والإلكترونيات يجب أن تكون متكاملة بإحكام في المصنع الصغير، مما يجعل إنتاج الرقائق والمفاعلات الصغيرة مهمة متعددة التخصصات حقاً. (وهذا يعني جلب المعارف الجديدة من الخارج)، يؤكد كلاوس جنسن. ويضيف (لقد أحضرت علماء الأحياء والكيمياء في مجموعتي. كنت في حاجة إليهم. عليهم أن يتعلموا من بعضهم البعض). ويعمل فريق جنسن على العقبات التي تعيق التقدم في النباتات الصغيرة.

(نريد حقيقةً تحقيق ثلاثية أبعاد الهياكل على شريحة. السفن والأنابيب تشكل الأعمدة التي تشكل إنشاء مصنع للمواد الكيميائية الكلاسيكية

عقدة متطـورة. التخطيط الأمثل لمحطة كبيرة هو عبر الحفاظ على وسائل النقل إلى الحـد الأدنى. حتى الآن، فإنه لم يكن ممكناً تراكب عناصر داخل مصنـع الجزئي، الأمر الذي يحد من إمكانـات تحسين التخطيط). وتعتبر معالجـة المـواد الصلبة أيضا مهمة صعبة لأن جزيئـات صلبة يمكن أن تسد القنـوات صغـيرة. وسيكـون أول مصنـع للتطبيقات الصغـيرة من المواد الكيميائيـة والصيدلانيـة غرامة صناعة قطاعين هما بالغـا الأهمية والدقة حيـث يتم قياس النـاتج غالباً بكميات صغيرة. في إنتـاج الأدوية الخاصة، توفـر الدقة مردودا فوريا. الدقة المتناهية عبر النباتات الصغيرة التي تقدمها المحطـات تؤدي أيضا إلى منتجات أفضل عنـد تجميع البلاستيك. ويمكن التحكـم في طـول الجزيئـات الاصطناعية، ممـا يتيح صقلهـا. مع ذلك، كلاوس جنسن مقتنع أن النباتـات الصغيرة لديها الكثير لتقدمه من حيث العمليـات وكذلك الجزء الأكـبر، الذي يقاس في الإخـراج طن بدلاً من غـرام. يمكن إجـراء عمليات الأكسـدة في محطة صغـيرة في ظل ظروف مواتيـة من النوع الذي سيدفع لوضـع أعداد كبيرة منها إلى جانب بعضها البعض. كما تقـدم دراسة النباتات الصغـيرة رؤى جديدة في كيفية دمج العمليات، وهذا بدوره يجعل التصاميم على نطاق أوسع أفضل.

ويعتقد جنسن أن هـذا يمكننا من التحكم في عمليات معقدة على نحو أكـثر فعالية. سوف يقربنـا الأمر من النباتات التي يسيطـر عليها تماماً كل شـيء، ولا يتم تنسيقها مع أي من المنتجـات الزائدة، أو هدر طاقة النبات الذي يضبط تلقائيا حسب الظروف التي يكمن فيها والتي تقع على مقربة مـن المستخدم. النباتـات الصغيرة قد تسمـح لنا في نهاية المطـاف إنشاء

(مصنـع عالمي) في شـكل من الأجهزة المتعـددة الاستعمالات للغاية على أساس التكامل بين المكونات المختلفة على شريحة واحدة. ويمكن بعد ذلك إنتاج مجموعة متنوعة من المنتجات لاستخدامها كوحدة واحدة. في يوم واحد، قد نكون قادرين على التعامل مع المفارز الجزيئية في ذلك، وتشكيل الجزيئات إلى حد كبير كما تنتج طابعة أنواع مختلفة من النصوص.

الفصل الثالث

أدوات ووسائل

1 - مساعدونا

توقع الخبير الإعلامي الكندي مارشال ماكلوهان صعود (القرية العالمية) مرة أخرى في الزمان والمكان، كان ذلك[1] عام 1962. وقال حينذاك: إن (الزمان والمكان لن يكونا حواجز أمام الاتصالات. وسيتمكّن الناس من تكوين علاقات على أساس وبعد عالمي. وخلال السنوات العشرة الماضية، أثبتت فرص النمو السريع في قطاع الاتصالات الكثير من تحليلاته. ولم يتحول العالم إلى قرية كونية واحدة كبيرة، فتم استبعاد مناطق بأكملها من كوكبنا، كما نرى من خلال خريطة اتصالات شبكة المعلومات الدولية (الإنترنت) إذ تخطت الروابط الرئيسية القارة الإفريقية.

ومن المحيط الأطلسي، فقد لامست رأس الرجاء الصالح قبل الانحناء إلى المحيط الهادي، مع فرع طفيف فقط في بعض الأحيان إلى الساحل الإفريقي. وفي الواقع، تبدو هذه الطرق كطرق التجارة القديمة والشركات الهولندية و الهند الشرقية الإنكليزية. تشغيل الكابل عبر إفريقيا يكون ضعيفاً جداً، حتى لو افترضنا أن أي شخص أو شركة محلية يمكن أن تحمل اتصالات الإنترنت السريعة في المقام الأول. لذلك، يمكن أن تفوت ثورة الاتصالات قارة بأسرها، الأمر الذي يؤدي بها إلى مقاطعة عالم الأعمال.

---

(1) McLuhan، M. (1962). The Gutenberg galaxy: The making of typographic man. London: Routledge & Kegan Paul.

فتطور شركات البرمجيات برامجها في الصين والهند، وليس في الكاميرون.

ويمكن لشبكة كثيفة من الاتصالات أن تعطي الناس فرصة أكبر للمشاركة في الاقتصاد العالمي وأن تقدم لهم أيضا المزيد من السيطرة على إمدادات المياه، أو توفر لهم إشارات مبكرة من التغير العالمي. العديد من المشاكل الأخرى التي تواجه البشر تقنية في طبيعتها، وكذلك الأدوات التي نحتاجها لمواجهة هذه الاعتداءات. وتقدم الإلكترونيات الأدوات اللازمة لتحسين مراقبة صحتنا.

ويمكن وعي الأخطاء أن يستخدم علم الحواسيب ونتوجه بذلك بعيداً عن الأزمات. ونحن بحاجة إلى الأدوات التي تستجيب في كل مكان، كما أننا بحاجة إلى قياس ومراقبة مناطق أوسع على مقياس أقصر للوقت وبدقة أكبر بكثير مما هو ممكن في الوقت الراهن. ولكن، ما زلنا لا نملك ما يكفي من أجهزة الاستشعار لرصد المناخ أو الزلازل الوشيكة.

نحن نستهلك الكثير من الطاقة والمواد الخام في مصانعنا لأننا لا نعرف كيفية التحكم في هذه العمليات بشكل أكثر دقة. ويمكن للأدوات الجديدة أن تسمح لنا بالبقاء على مسافة قريبة من الأمور والاستجابة بسرعة إذا اتجهت على نحو خاطئ. التأثير على مصير البشرية ليس مجرد مسألة صورة كبيرة وتوقعات بعيدة المدى، بل أيضا الوعي للتغيرات الصغيرة المتبقية.

ولطالما أثارت محاولات تحسين أدواتنا القلق. تاريخ البشرية مليء بالتحذيرات من أن التكنولوجيا الجديدة سوف تسبّب لنا ضرراً لا يمكن إصلاحه وتستعبدنا في نهاية المطاف. وحذر سقراط ضد الكتابة، وقيل أيضا أن اختراع الطباعة سيغيرنا بطرق من الصعب التعارف عليها. وربما

فعلت ذلـك، أيضا، وإن لم يكن بالطريقة التـي كان يخشاها زعماء الكنسية في وقـت متأخر من العصور الوسطى. ويعرض عصرنا أيضا مخاوف عميقة مـن تـولي الأدوات البشرية السيطرة. ولقـد افترض العـالم الأميركي (إريك دريكسلر)، على سبيل المثال، أن الأنظمة الجزيئية يمكن أن تتكاثر، لتخلق في نهاية المطاف نوعا جديدا من (الروبوت) الذاتي التكرار[1]. ويخشى أن هذا النسخ المتماثل، يمكن أن يحدث بسرعة إذا كان هناك ما يكفي من المواد الخام المتاحة، فتنتشر بذلك أسراب من الروبوتات من كل ثقب في سرعة البرق.

وقبـل أن نشعر، ستنتشـر المليارات من (الروبوتات نانـو) في جميع أنحاء الأرض لتستهلـك بنهم كل شـيء في طريقها. ويعتقد أنصـار دريكسلر أنه من الممكن تجريد الكوكـب عارياً بأسره بهذه الطريقة في أقل من 3 ساعات، فيتحـول كل شـيء إلى (جو رمـادي). في غضـون 180 دقيقـة من هروب (الروبـوت نانو) من المختبر إلى الخـارج، سيتم محو جميع أشكال الحياة على الأرض.

إنهـا الصـورة الكابوسية التـي نشبت في جميع أنـواع المتغيرات. وقد عرت بيل جـوي، الرئيس السابق للبحوث في تصنيـع أجهزة الكمبيوتر (صـن مايكروسيستمـز)، و نسخـة أكثر دقة قليـلاً في تحقيق (روبوتات نانـو) تعـادل البشرية في الـذكاء[2]. وقـد تكهـن (راي كورزويل) (عالم

(1) Drexler، K. E. (1986). Engines of creation. Garden City، N.Y.: Anchor/ Doubleday.

(2) Joy، B. (2000). Why the future doesn't need us: Our most powerful 21st-century technologies—robotics، genetic engineering، and nanotech—are threatening to make humans an endangered species. Wired، 8(4)، 238-264.

دراسات المستقبل الأميركي)، حول تأثيرات روبوتات النانو المحتمل على أجسادنا[1].

يمكـن أن تسبح عبر عروقنا وتولي مهام وضعنا الداخلي. يمكن أن تطلق إلكترونـات النار في اللحظـة المناسبة في أدمغتنا، مما يثـير إشارات الخلايا العصبيـة الاصطناعيـة. مهما كانت الرؤيـة الواقعية أمـام أعيننا، قد نرى أنفسنا على جزيرة استوائيـة نشاهد غروب الشمس. قد نشعر أننا نسمع زقزقـة بينما نكـون في الواقع في مصنـع لتشغيـل الآلات الثقيلة. تخدع (روبوتـات النانـو) الحواس، مما يجعل مـن المستحيل بالنسبـة لنا التمييز بـين الواقـع والوهم. يتم أخـذ هذه الفكـرة إلى نهايتهـا المنطقية في فيلم (الماتريكسـ). سوف نجد أنفسنا في نهايـة المطاف بشر مستغلين من دون أن نلاحظ ذلك.

الناس أمثال (دريكسلر)، و(جوي) و(كورزويل) يعبرون عن عدم ارتياح يرتـدّ بقوة في مجتمعنا. المخاوف المبالغ فيهـا حول الأدوات التي نطورها ليسـ لها أساس من الصحة كما الادعاء أننـا نتجه إلى نوع من (اليوتوبيا) التكنولوجية. كلاهما يصرفنا عن المشاكل الحقيقية التي نواجهها. نحتاج بوضوح إلى تقدم كبير لا سيما في مجال العلم والتكنولوجيا من أجل البقاء والازدهـار. ولا ينبغـي أن يثبط عزيمتنا الجانب الخطير مـن التكنولوجيا. كل تطـور جديد ناجح لديه الجانـب السلبي المحتمـل. وقد استخدمت

---

(1) Kurzweil، R. (2005). The singularity is near: When humans transcend biology. New York: Viking.

السكاكين لقتل البشر، وكذلك لإنقاذ الآخرين في العديد من غرف العمليات في المستشفى. يمكن أن تكون المروحيات الأسلحة الفتاكة، لكنها غالباً ما تكون المركبات الوحيدة التي يمكن أن تصل إلى القرى النائية التي ضربها زلزال. فلا ينبغي أن نصاب بالذعر حول العلوم والتكنولوجيا فهي مرتبطة بالتالي بكيفية استخدامها في المجتمع.

في هذا الجزء من الكتاب، نصف أولا كيف تصل الإلكترونيات والشبكات الحاسوبية إلى حدها وكيفية تحقيق اختراقات جديدة قد توسع نطاقها. ثم نذهب إلى معضلات التخصيص. الأدوات الهامة لحماية الخصوصية والملكية التي تأتي من الترميز. إدارة النقص كذلك هو موضوع مهم في إنشاء البرامج والأجهزة، في مجال الخدمات اللوجستية، وكذلك في السيطرة على الروبوتات.

2 - إلكترونيات أذكى

يمكن أن يكون الذهاب إلى محل للإلكترونيات بعد فترة وجيزة من شرائك جهاز كمبيوتر جديد أمراً مثبطاً جداً. كل شهر، يبدو أنك تحصل على مزيد من القدرة الحاسوبية للحصول على المال نفسه. وفي كل سنة، تصبح الأجهزة أصغر حجما. وتيرة التقدم شديدة بحيث تصبح خارجا من التاريخ في غضون بضعة أشهر. إذا نظرت عشر سنوات إلى الوراء، تبدو معظم أجهزة الكمبيوتر المتطورة في ذلك الوقت الآن خرقاء.

بعد عشر سنوات من اليوم، ستبدو لأجهزة الكمبيوتر الحالية بلا شك

بدائيـة للغاية. قـد يبدو الأمر محبطا، ولكن هذا التقـدم السريع يقدم نفسه كمصدر هام للأمل بالنسبة للبشرية، لأنه سيمكننا من تطبيق سلطة أجهزة الكمبيوتـر في المناطق التي أثبتت حتى الآن المقاومة. جميع أنواع القضايا الملحة في مجـال الرعاية الصحيـة والاقتصاد العالمي تحـاول الاستفادة من تناقص سعر الإلكترونيات والقدرة على حـزم المزيد من الحوسبة والطاقة والاتصـالات في مساحـة أصغر. لهذا السبب، تكمـن الإلكترونيات في قلب العديد من الحلول التي نعرضها في ما تبقى من هذا الكتاب.

ويصـل وعد الإلكترونيـات إلى أكثر من تمنٍّ مـن المهووسين الساذجين الذيـن يعملون في مختبرات خالية من الغبـار لتطوير رقائق أكثر قوة. الأمر مرتبـط بطبيعة هذا النوع الجديد من المشاكل التي نواجهها. وتثبت أهمية الإلكترونيات المتزايدة في الحالات المعقدة التي يصعب السيطرة عليها.

علـى سبيل المثال، تملـك ذبذبة صغـيرة في باطن الأرض القدرة على إحداث زلزال. لذلك، إنه أمر حيوي أن نركب أجهزة رخيصة في جميع أنحاء العالم بإمكانها أن تلتقط هذه الإشارات في وقت مبكر قبل أن تكثف جهودها، في حين لا يزال هناك وقت لتحذير الناس من الأذى. الأمر نفسه ينطبـق على العديد من المسائل المعقـدة الأخرى المعاصرة. ويمكن لأجهزة الكمبيوتـر القوية تحليل البيانات المالية بشكل روتيني للكشف عن الأزمة المقبلـة في القرارات، وبعد سنوات قليلة مـن الآن، قد يكون لدينا أجهزة كمبيوتـر قوية بما يكفي لتحديد نقاط التحول في المناخ. ويعطينا الحساب السريـع، والقياس الدقيق، والتحكـم الآلي أكثر حزما لتشديد الخناق على مشاكل معقدة.

وتلعب الإلكترونيات الرخيصة والقوية في كل مكان دورا حاسما في تحسين حالة الإنسان. لذا فإنه أمر جيد للغاية أن يتم الحصول على مكونات أرخص وأكثر قوة باطراد. ويتوقع غوردون مور، أحد مؤسسي شركة صناعة الرقاقات إنتل ارتفاعا مذهلا في قوة الحوسبة وخفض سعرها. في عام 1965، تنبأ بأن عدد الترانزستورات على رقاقة سيتضاعف كل سنتين. تحولت توقعاته إلى الجانب المحافظ: تضاعف بالفعل عدد المكونات على المعالجات الدقيقة كل 18 شهرا أو نحو ذلك. ومن المعروف أن قانون مور حافظ على صدقيته منذ نحو 40 عاماً[1].

وقد رسمت أول أجهزة الكمبيوتر باستخدام القلم والورق وبنيت مع الأسلاك والمفكات. ثم استخدم مصممو الرقاقة أجهزة الكمبيوتر هذه لإجراء أول الحسابات اللازمة لتصميم المعالجات اللاحقة، ومنذ ذلك الحين، أوجد كل جيل جديد من أجهزة الكمبيوتر الأدوات اللازمة لإنجاز إنتاج المقبل. يستخدم المصممون الآن أجهزة الكمبيوتر بشكل روتيني وسريو البرمجيات الذكية لتصور رقائق على مستوى عال من التجريد. لا يمكن أن يكون تشكيل أحدث المعالجات، مع البلايين من المكونات، من قبل البشر مباشرة. الشرائح ومكونات أجهزة الكمبيوتر الآن مصممة من دون تدخل مع الإنسان. لذا، تجعل أجهزة الكمبيوتر الجديدة المعالجات الجديدة محتملة، والعكس بالعكس. وقد جعلت هذه العوامل وغيرها من

(1) Mollick، E. (2006). Establishing Moore's law. IEEE Annals of the History of Computing، 28(3)، 62–75.

قانــون مور قانونا دقيقا، وهدف بديهــي يأخذ في الاعتبار كل التطورات المخطــط لها في الميدان. بهــذه الطريقة، فقد أصبحت نبــوءة، وقد وضع المهندســين خارطــة الطريق[1] في متناول اليــد، لتخفيض حجم مكوناتها خلال دورات لمدة 18 شهرا متتالية.

الحدود ظاهرة

كثير من الناس في صناعة الرقائق على قناعة بأن قانون مور سوف يصمد لبضعــة أجيال. ومع ذلك، فيزياء الأجهــزة المتقلصة ليست عرضة للتمني أو تحــدي خرائط الطرق. إلى أي درجــة نحن متأكدون من أن قانون مور سيستمــر في تقديم إلكترونيات أرخص بشكل مطرد على مدى السنوات العشريــن المقبلة؟ هل يمكننا حقا تطوير الأجهزة بأسعار معقولة قادرة على تمكــين جميع شعوب العالم؟ لمعرفة ذلك، لجأنا إلى (هوغو دي مان) الذي كرس حياته المهنية لخلق إلكترونيات أسرع وأصغر من أي وقت مضى.

بــدأ مسيرته كشاب يبني أجهــزة الاستقبال للراديو مع أنابيب فراغ قبل تخرّجــه إلى الترانزستورات عندما كان مراهقــا. كأستاذ لتصميم منهجية المرحليــة المعقدة في لوفين، بلجيكا، عرف كيفيــة حزمةالمزيد والمزيد من الترانزستورات على الرقاقات الإلكترونية الدقيقة.

ويعتقد دومان الذي تخرّج مؤخرا من جامعة لوفين، أننا نشهد المراحل

(1) For the latest roadmap، see International technology roadmap for semiconductors، http://www.itrs.net

الأخيرة من عملية التصغير. (في الثمانينيات والتسعينيات، استمتعنا بفترة طويلـة من التحجيم السعيد، كما نسميها هنـا. جيلا بعد جيل، تمكّنا من الحفاظ علـى الهيكل وموادە الترانزستور نفسه. أعلـن أيضا إنتل في تلك الفـترة أنه يمكنـك أن تستمر في القيادة حتى تصل سرعـة الساعة للمعالج واحد تصل إلى 10 أو 20 غيغا).

أصبحـت الأمور أصعب فجأة للجميع في أنحـاء مطلع الألفية الثالثة، حيث أصبحت نقطة قياس 100 نانومتر ممكنة. في هذه الدرجة من التصغير، يفسّر دو مان أننا (نقترب كثيرا من حدود مختلفة في نفس الوقت. المشاكل هي التكدس، مما يجعل من الصعب للغاية اتخاذ الخطوات المقبلة).

في بدايـة الأمر، يجب علـى المرء أن يدرك أن كل نشـاط حسابي يولد حـرارة. كلما زادت سرعة المعالج بالحساب، يتم إنتاج المزيد من الحرارة. وتشتـت المعالجات اليـوم بقدر مصبـاح 100 واط في بضـع سنتيمترات مكعبـة. ويتضاعف هذا الإخراج في الحرارة في كل جيل جديد. ويصبح التحدي إزالة تلك الحرارة عن طريق تبريد الهواء. طريقة واحدة للهروب من الأمر هي من خلال خفض هذا الجهد الذي يعمل عليه المعالج. نصف الجهد يعني حرارة أقل أربع مرات. هذا يبدو رائعاً، لكن للأسف فإنه يقلل أيضا من سرعة الحساب.

ونتيجـة لذلك، لا يمكن للسرعة التي تعمل عليها رقائق معالج واحد أن ترتفـع أبعد من ذلك بكثير. (السرعة التي كان يتحدث عنها انتل منذ فترة مـن الوقت تبدو الآن أشبه بالخيال. لقد وصلنا إلى نقطة حيث يمكن حتى لزيـادة طفيفة في وتيرة شريحة معالج واحدة أن تتسبب بتوليد الحرارة إلى

حــد أكبر. أهذا ما يجعله من المستحيل تقريبــا إنتاج رقائق موثوق بها مع تردد أكثر من 5 جيجاهيرتز: قد تذوب حالا[1]).

وهنــاك عــدد مــن الحلول مــع ذلــك للسمــاح للرقائــق بتنفيــذ المزيد مــن العمليــات الحسابيــة في الثانيــة الواحدة. بــدلا من استخــدام أسرع للترانزستورات، يمكننا تحقيق مكاسب بسرعة، على سبيل المثال، عن طريق دمج النوى المتعددة على الشريحة نفسها التي تعمل بالتوازي وتسمح لك بتنفيذ عمليات حسابية عدة في آن واحد. يمكن لهذه المعالجات التي تعمل في الجهد المنخفض أن تحل قضية الحرارة. من شأنها أن توفر زيادة السرعة ولكن ليس لكل برنامج كمبيوتر.

(أنت بحاجة فعــلا لإعادة تصميم معظم البرمجيــات لتحقيق الاستفادة المثلى من تكوينات موازية)، يقول دومان. ويضيف: (لكن ذلك سيكون مستحيــلا من الناحيــة العملية. البرنامج الذي لدينــا الآن قد بني تدريجيا علــى مدى عقود من الزمن. لا يمكنك إعادة كل شيء بضربة واحدة. بدلا من ذلــك، فإن جميع الشــركات المصنعة الكبرى تعمل علــى إيجاد سبل لتكيــف البرامج تلقائيا عــن الحوسبة المتوازية، على الرغــم من أن أحدا لم يخــرج بأي شيء حتى الآن. في الممارســة العملية، ليس هناك جدوى في وضــع أكثر من ثمانية معالجات بالتــوازي في التطبيقات للأغراض العامة التقليديــة للبرمجة. إضافة المزيد لا يعطيك أي سرعة زائدة. لقد وصلنا الآن بشــكل أو بآخر إلى هذا الحــد. لكن الأمور مختلفــة لتطبيقات متخصصة

(1) Ross، P. E. (2008). Why CPU frequency stalled. IEEE Spectrum، 45(4)، 72.

مثـل معالجة الصور ورسومات الكمبيوتر ومعالجـة الكلام. هذه الأنواع مـن البرامج لديها الكثير من التوازي الجوهري، ويمكن أن تنفذ على نحو فعـال على تطبيق محـدد لرقائق تحتوي على مئات مـن المعالجات الصغيرة والتـي تعمل بالتـوازي لتوليد حرارة أقل. هذا أمـر حاسم أيضا للهواتف الذكيـة التي تعمل بالبطاريـات واللاسلكية النقالة والكتـب الصافية التي تأخذ تدريجيا من خلال جهاز الكمبيوتر).

طريقـة أخرى للتغلب علـى مسألة السرعة لتحسين سرعـة الترانزستور الكلاسيكيـة، على سبيل المثال، تتم عن طريـق إدراج مواد جديدة. ومع ذلـك، نحن هنـا نصل إلى آخر الحدود المادية لأنـه لا يمكن أن تكون هذه الترانزستورات مغلقـة بشكل صحيح. ونتيجة لذلك، فهي تسرب الطاقة باستمـرار حتـى عندمـا لا يكـون الأمـر في الحساب. اخـترع مهندسو التصميم تسرب تقنيات القمع، ولكن هذه الحيل استنفدت أيضا تدريجيا. الحـل الوحيد المتبقي هو أن نبدأ يصنع الترانزستورات على أساس مختلف. ولكن ذلك قد يعني قطيعة أربعين عاما عن تقنيات التصميم الدقيقة.

وهذا الأمر يعني أيضا توديع الترانزستورات الكلاسيكية التي استخدمها الشاب هوغو دومان عند بناء الإذاعة والذي علمنا منذ ذلك الحين التحرك على مساحات أصغر. ويتطلب التحول اللجوء إلى أدوات مختلفة، بعضها لم يوجد بعد.

مسألـة أخرى تـبرز عندما تحاول إنتاج ميزات أقل مـن 32 نانومتر التي هنـاك حاجة إليها للجيل القادم. اليوم، ويتم ذلك اليوم باستخدام الأشعة فوق البنفسجية للطباعة الحجرية في ضوء الليزر من 193 نانومتر.

(لقد تحققت أشياء مدهشة)، يقول دومان. ويضيف: (لقد تعلمنا كيفية استخدام الضوء لإنشاء هياكل ما يقرب من عشر مرات أصغر من الطول الموجي للضوء لأنماط الأشعة فوق البنفسجية. يعتقد الجميع أن ذلك قد يسبب الصراع مع قوانين الفيزياء، ولكننا طورنا مربعا شاملا من الحيل التي تمكننا من القيام بذلك. في عام 2003، كنا ننتج الهياكل قياس 90 نانومتر، وبحلول عام 2009، حصلنا عليه إلى 32 نانومتر، وذلك باستخدام ضوء الليزر نفس الطول الموجي من 193 نانومتر).

لكن الحيل لأنماط الحفر على شريحة تبدو الآن فارغة تقريبا. أشعة الليزر فوق البنفسجية الموجودة هي على الأرجح جيدة لمدة أكثر من جيل. جاء المصممون مع تقنية ذكية لاستخدام المياه بوصفها عدسة إضافية، ولكن الأمر يصل إلى هذا الحد. لن يكون المزيد من الانكماش ممكنا إلا باستخدام مصادر ليزر الأشعة فوق البنفسجية المتطرفة (فوق البنفسجي) ضوء الموجة 13.5. وتقوم المختبرات في هولندا الآن باختبار نموذج أول آلة من هذا النوع في العالم والقادرة على تصنيع رقائق مع تفاصيل أصغر من 22 نانومتر.

هذه الآلات باهظة الثمن جدا لأنه لا يمكن استخدام أي عدسات أكثر في ذلك الطول الموجي. وتعمل المرايا البالغة الدقة تحت فراغ تركيز الضوء فوق البنفسجي. يجب أن تكون المرايا مسطحة للغاية وأن تتفاوت بين ما لا يزيد عن ما يعادل 1500 كيلومترا في كل ملليمتر.

مسألة أخرى هي عدم دقة التي لا بد من أن تزحف في مكونات تستمر في الانخفاض في الحجم. أداء الهياكل صغيرة للغاية كالترانزستور يبدأ

بالاعتماد على بضع مئات فقط من الذرات التي انتشرت، بحكم طبيعتها، بشكل عشوائـي في السليكون. ونتيجة لذلـك، الترانزستورات التي من المفترض أن تكون متطابقة عرضة لاختلافات صغيرة، مما يجعلها تتصرف بشكل مختلف، الأمر الذي قد يؤدي في بعض الحالات إلى حدوث خلل. وسـوف يتطلب التعامل مع هذه التغـيرات العشوائية في خصائص عنصر على شريحة وطرق تصميم مختلفة تماما.

تصاميـم المهندسـين المتسامحـة ستجبر البرمجيـات على اتخـاذ تفاصيل الأجهـزة بعـين الاعتبار، يقول هوغـو دومان: (قد ينظـر صانعو البرامج تقليديا إلى المعالج على شكل مربع أسود لا يحتاج إلى معرفة أي شيء عنه، وهذا لن يتغـير، وتصميم البرامج والأجهزة أصبحـت متشابكة لا محالة، سيكون من المستحيل الفصل بين مهام البناء من تلك الأجهزة وبين مصمم البرنامج، وكلها أمور تجعل من عملية التصميم أكثر تعقيدا).

إنهـا المـرة الأولى في تاريخ أربعين عاما من الإلكترونيـات الدقيقة التي يكـون لدينا فيها حديات كثـيرة ومتزامنة، يؤكد دومـان. ويقول: هناك مجموعـة من المشاكل المتراكمة. لمواكبة قانون مور، سوف يتعين علينا حل كل هـذه المشـكلات في السنـوات القليلة المقبلة. جوهـر القانون هو أن يكـون لديك القـدرة على حل المشاكل في فترة زمنيـة أقصر من أي وقت مضـى. مـن الواضح بشكل خاص أنـك إذا نظرت إلى قانـون مور على نطاق خطي، ستدرك الزيادة المتفجرة في الأداء الذي حققناه مرة بعد مرة. اتخـذت البشرية التاريخ كله للوصول إلى المعالجات التي لدينا اليوم. لدينا الآن تكـرار هذا الإنجاز في غضـون 4 سنوات، ثم سنتين، ثم سنة، ثم ستة

أشهـر، ثم ثلاثة. هذا هو قانـون مور. وتيرة التحسـن في ارتفاع في كل وقت إذا كنت تريد أن تبقي على هذا السطر الأسي.

القانون المضاد لمور

(دعونا نقول إننا يمكن التغلب على التحديات الراهنة)، ويقول دومان: (أنـا أشـك إذا كان ذلك سيكون ممكنـا بالسرعة المعتـادة، ولكن جدلا، دعونا نقول إنه يمكن القيام به. فماذا حققنا؟ فإن ذلك يعني أنه في غضون عشـر سنوات، سنكون قادرين على جعل المعالج على سنتيمتر مربع واحد مـن السليكون التي يمكـن أن تـؤدي 25000000000000 عملية حسابية في الثانيـة بعبـارة أخرى، هل نحن بحاجة فعـلا إلى ذلك؟ هل نحن على استعـداد حقـا لدفع ثمن؟ ذلـك كم تكلفة كل جيل جديـد من رقائق في الواقع؟).

نحـن بحاجـة اليـوم إلى حـوالي 100 مليـون دولار لتطويـر الأجهزة والبرمجيـات لمعالج جديـد، وفقا لدومـان. (وفي غضون عشـر سنوات، ستكون التكلفة أشبه بمليار دولار. السعر يتضاعف كل 18 شهرا، وهذا ما أسمـي القانون المضاد لمور. تسمع الكثير عن ذلك أقل مما تفعله عن قانون مور، ولكـن الزيادة في التكاليـف تضع الفرامل علـى التقدم، حيث بلغ حجـم الإنتاج لعائد مناسب على الاستثمـار في تشغيل مئات الملايين من رقائق البطاطس. الشيء نفسه ينطبق على الكثير من التقنيات التي تحتاجها المعالجات. تكاليف إنشـاء مصنع الإلكترونيات جديد تنمو باطراد أيضا. هـل تريد حقـا إنفاق 10 بليـون دولار على القوات المسلحـة البوروندية

الجديدة؟ تكاليف البحث والتطوير لتطوير الجيل القادم من التكنولوجيا العملية يحتاج التوصل إلى 1.2 مليار دولار للعقدة 22 نانومتر).

تاريخيا، كان سبب ارتفاع التكاليف بمعظمها تقاسم التكاليف الضخمة وتقول مؤسسة دومان: إن تجمع لاعبين مختلفين حيث العديد من المرافق والدراية، هو انعكاس لهذه العملية. في الوقت نفسه، النظام بأكمله في طور التغيير. في جميع أنحاء العالم، يمكن فقط لجزء صغير من صانعي الرقائق تحمل هذه التكاليف كالسامسونج والانتل. قضية مثيرة للاهتمام هو ظهور المصنوعة عظمى مثل سير تسمك باسم (مسابك السليكون) بالنسبة للعديد من الشركات التي تتجه إلى الصناعة الصغيرة التي تخدم السوق الاستهلاكية. وهي تركز على تصميم رقائق متقدمة وتترك التصنيع إلى المسابك. وقد أبقت شركة واحدة الثقة بقانون مور.

دومان مقتنع أن ارتفاع التكاليف أضعافا مضاعفة من كل جيل من رقائق المعالجات سيؤدي إلى توليد العوائد المتناقصة. (المعالج المضاعف القوة لا يخلق احتمالات مضاعفة. لقد تم استخدام جهاز الكمبيوتر لمعالجة النصوص وإنشاء العروض لمدة عشرين عاما من الآن. أصبحت المعالجات أكثر تعقيدا مليون مرة على مدى تلك الفترة، ولكني ما زلت أستخدم الكمبيوتر الخاص بي للقيام بنفس الأمر. وقد اختار برنامج معالجة الكلمات بعض الميزات الإضافية، لكنه بالتأكيد لم يواكب هذه الزيادة في القدرة الحاسوبية. هذا هو الحال مع جميع الأجهزة الإلكترونية. تحتاج كمية لا تصدق من التكنولوجيا الإضافية لتحقيق زيادة طفيفة في جدواها. وكذلك تقليص حجم الترانزستورات يظل مفيدا فقط طالما أنه

يسمح بخفض التكلفة لكل وظيفة[1]).

(هنـاك الكثير من الشركات التي قد توقفـت بالفعل عن محاولة أن تجعل أي من المعالجات أصغر حجمـا)، يؤكد هوغو دومان (الأقراص المدمجة لا تحتاج إلى معالجـات أصغر. كل مـا يهـم هو الثمن، الذي يستمر بالارتفاع إن قررت البقاء في السباق.. قانون مور وتحقيق الربح لا يجتمعان. ولن أقلق إذا تلاشى قانون مور بهدوء بعيدا. الرقائق صغيرة بما يكفي وقوية بما فيه الكفاية بالفعل).

أجهزة جديدة

(في الواقـع، إذا كان لي بضعـة مليـارات يـورو للاستثمـار في مجـال الإلكترونيات التي لديها القدرة على تحسين حياتنا، فسأبحث بالتأكيد في مكان آخر. بالتأكيد، لا أود أن تستثمر في تصغير مزيد من الترانزستورات، إذ إنها محدودة الفوائد. أنواع أخرى من التحسينات هي أكثر أهمية لكثير مـن التطبيقات)، بحسب هوغو دومان. (تركيـب الإلكترونيات بفعالية أكبر في محيطها، على سبيل المثال. يمكنك دمج أجهزة الاستشعار في رقاقة لكشـف الحركة أو قيـاس درجة الحرارة، أو المحـركات لتحريك الأمور قليـلا حولها، الأمر الذي مـن شأنه أن يعطيك الأجهـزة التي تستطيع أن ترصد نبضات القلب لديك، مثلا، أو تنظيم العمليات الكيميائية).

(1) The former CTO of Philips Semiconductors drew a lot of attention when he observed that a linear increase in functionality requires an exponential increase in system complexity. Claasen، T. (1998). The logarithmic law of usefulness. Semiconductor International، 21(8)، 175-186.

هـذه هـي الطريقة التـي تتطور فيهـا تكنولوجيـا المعلومـات بسرعة من الكمبيوتـر إلى عالم (الاستخبارات المحيطـة)، حيث يتم التركيز بشكل أكبر على التواصل والاتصالات الذكية من التركيز على الحوسبة الخام. المساعدات الرقميـة في جيوبنا بـدأت تظهر تقدم في أي وقـت وأي مكان بوابة لجميع الناس والمعلومـات في القريـة العالمية. وهـم قادرون على نحـو متزايد من الاتصـال والتفاعل مع الكائنات الذكية في محيطنا وتغيير الطريقة التي نختبر خلالهـا بيئتنا. لهذه التطبيقات الموجهة نحـو المستهلك، التكلفة المنخفضة والاستهلاك المنخفض للطاقة عوامـل أكثر أهمية من القدرات الخارقة. هذا يؤدي إلى تطوير تكنولوجيات جديدة (أكثر من مور) إلى جانب التوسع.

هـذه التقنيـات تشمل، على سبيـل المثال، عدد لا يحصـى من تقنيات الاستشعـار التـي يجـري دمجهـا في رقائـق الكمبيوتر. وقـد اتخذ علم الإلكترونيـات نفسـه أيضا أشكال جديـدة ومختلفـة. الآن يمكنك جعل الإلكترونيات مع مواد مثل البوليمرات التي تسمح للرقائق أن تكون مرنة فيمكـن مـن خلالها طباعة الدوائـر الإلكترونية، مما يتيـح لك لف حرفيا الإلكترونيـات بكميات ضخمـة. ولدينا الآن أساليـب التعبئة والتغليف والمكونـات الإلكترونية وأجهـزة الاستشعار إلى مكعبـات قياس أقل من ملليمتر مكعب.

(هـذا صغير بما يكفي لجهاز: ويتمثل التحدي الآن في إيجاد سبل لدمج أجهـزة الاستشعار الذكية على شريحـة واحدة)، يقول دومان. ويضيف: (هـذا قد يحقق التقـدم المذهل في الراحة والسلامـة الصحية. فإنه يعطينا الإلكترونيات التي ندرك حقا محيطهم وحتى يمكن السيطرة عليها).

يقترح دومان على سبيل المثال الأجهزة الصغيرة التي ترصد باستمرار مرضى الصرع. الفكرة هي لتحليل الإشارات الكهربائية من الدماغ للكشف عن بدء النوبة ومن ثم اتخاذ الإجراءات التصحيحية لمنع ذلك من الحدوث. (هذا التطور هو في متناول اليد في الوقت الراهن، ونحن لا نضطر إلى الانتظار لتكرار القادمة من قانون مور. ما نحتاج إليه بدلا من ذلك هو تعاون وثيق مع الطب وعلم النفس المتخصصين حقا في هذه المهارات. ويمكن وضع أجهزة مشابهة لأمراض أخرى أيضا). اتجاه متعلق هو التكامل في مجال الإلكترونيات والتحليل الكيميائي على غرار مختبر على رقاقة. (وهذا يؤدي إلى الأجهزة التي يمكن تحليل قطرة من الدم واتخاذ إجراءات فورية. ومثل هذه التطورات تعزز الطب الوقائي بدلا من العلاج بالعقاقير. لديها القدرة على تغيير الأعمال الصيدلانية في الأساس، لأنها سوف تقلل من استهلاك الأدوية).

لذلك نحن نرى جيلا جديدا من الأجهزة التي تجمع بين قوة الحوسبة مع أجهزة الاستشعار. بدلا من السعي باستمرار لجعل الرقائق أسرع وأكثر قوة، وأكثر تعقيدا، يمكن إضافة وظائف جديدة عن طريق جعلها أكثر تنوعا. ويمكن عندئذ للأجهزة الناتجة أن تستعمل لأجل التطبيقات التي تم مسبقا الاتفاق عليها لمقاومة الحوسبة. ويمكن لأجهزة الاستشعار والآلات الدقيقة لهذه الأجهزة الجديدة إنشاء طرق جديدة تماما للتفاعل مع أجهزة الكمبيوتر، بحسب اعتقاد دومان، سوف تحدث ثورة في عدد من المجالات. (وسوف تحدث تغييرا عميقا في صناعتنا ووسائل النقل والطريقة التي نتفاعل مع بيئتنا).

3 - مزيد من التواصل

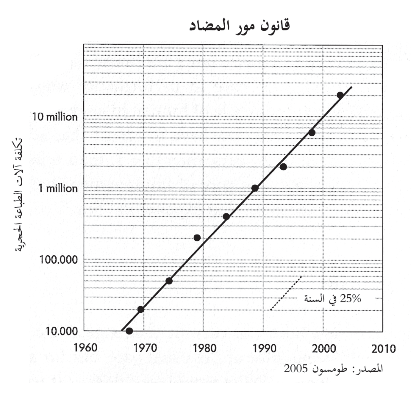
كانت الأمور مختلفة تماما قبل عشرين عاما. لم يكن هناك أي إنترنت أو بريد إلكتروني. ولم يكن قد تمّ بعد إرساله أوّل نص رسالة. وكانت العديد من البلدان الأوروبية لا تزال تفتتح أبراج بث هائلة لوضع اللمسات الأخيرة على شبكاتها التلفزيونية الوطنية. لنعد عشرين عاما إلى الوراء، تماما كما كان أول ضغط على أزرار الهواتف يصيب السوق، وكان جهاز كمبيوتر واحد يحتلّ غرفة المعيشة بالكامل حين كان أي شخص يفكر بتركيب واحد. وكانت المكالمات الهاتفية الدولية مكلفة جدا لدرجة أن الناس في كثير من الأحيان وقتوها عبر استعمال ساعات الوقف. لقد تقلص العالم إلى حد كبير منذ تلك الأيام.

وقد أصبح اليوم البريد الإلكتروني أو الدردشة عبر الإنترنت أمراً طبيعيا كليا. يمكن أن نتعاون مع شخص ما على الجانب الآخر من العالم تقريبا بسهولة كما لو أننا نتواصل مع شخص على بعد شارعين فقط. وتستخدم الشركات الإنترنت للاستعانة بمصادر خارجية لحساباتها إلى الهند. ويبيع المصورون أعمالهم في جميع أنحاء العالم. وإذا كنا نريد، يمكننا الاستماع إلى الإذاعة اليابانية في مكاتبنا الأوروبية. وقد كتب الكثير من هذا الكتاب بعيدا عن الخبراء الذين قابلناهم. حتى الآن في مئات المكالمات الهاتفية والبريد الإلكتروني، ودورات الفيديو التي دخلت حيز الإنتاج، لم يفكر أحد في المسافات التي كانت تفصلنا..

كلما انكمش العالم، تكثّفت الطريقة التي نستخدم فيها شبكات

الاتصالات. يتضاعف حجم البيانات التي نرسلها كل عام، وتزداد قدرة شبكات الكمبيوتر وكابلات الهاتف لا محالة، أيضا. تكنولوجيا الاتصالات في تحسن مستمر بمعدل سريع. ومع كل مضاعفة للقدرات، ينقسم ثمن نقل المعلومات نصفين. مما لا شك فيه أن الأمور ستبدو مختلفة جدا مرة أخرى بعد عشرين عاما من الآن. بحلول ذلك الوقت، على سبيل المثال، سيكون قد تم وصول الإنترنت إلى المناطق التي تفتقرها حاليا.

البوادر الأولى لهذه التغييرات جلية واضحة. يلعب الأفارقة دورا هاما في إعداد مشاريع الكمبيوتر في جميع أنحاء العالم من خلال متطوعين. وهم يشاركون، على سبيل المثال، في تطوير لينوكس، كبديل عن أنظمة تشغيل الويندوز والماكنتوش. تتيح مثل هذه المشاريع للمبرمجين فرصة المشاركة في التطورات التكنولوجية العالمية. على الأرجح، سوف يبدأ العمل في يوم من الأيام بالبحث عن مزيد من المتخصصين الإفريقيين أيضا.



ومن المرجح أن تستمر التكنولوجيا في كسر الحواجز في هذا السبيل. هذا هو النمط المعتمد في إطار نمو فرص التواصل: الأسرع والأرخص

هـو التواصل، وكلما استطاع الناس فعل ذلك، كلما قاد الأمر في نهاية المطاف إلى الاقتصاد العالمي. الاتصالات والتنمية متشابكان تماما. حوّلت العديد من تقنيات الاتصال الجديدة العالم إلى مكان أصغر. ويتسابق مقدمو خدمات الهاتف المحمول ليقدموا لنا البريد الإلكتروني وخدمات التصوير، التي تلقي بدورها حمولة إضافية على شبكات الألياف الضوئية التي تسهل الاتصالات. التطورات الأخرى هي التي تشمل المؤتمرات عن طريق الفيديو، والألعاب عبر الإنترنت، تلفزيون الإنترنت، والتصوير الطبي عن بعد.

هذه الابتكارات هي وراء النمو الملحوظ الذي نشهده في نقل البيانات. كانت حركة المرور الكبرى تتبادل ملقمات الإنترنت في جميع أنحاء العالم. وليس هناك أي علامة على وجود تباطؤ في تدفق هذه السيول من البيانات في جميع أنحاء العالم.

ومع ذلك، هناك اختناقات حادة في شبكات الاتصالات لدينا، والتي تواجه الزائد في العقد المركزية. تلعب هذه المحاور الآن مثل هذا الدور الحاسم الذي لديهم لتصبح نقطة الضعف في الشبكات. ويمكن لخلل في محور واحد جعل حركة المرور في قارة بأكملها أن تبلغ طريقا مسدودا. في يناير 1990، على سبيل المثال، كان هناك خطأ في هاتف بورصة نيويورك تتالي من خلال الشبكة، مما أدى إلى تدمير عدد من خطوط الهاتف عبر مساحات شاسعة من الولايات المتحدة. تماما لمدة 9 ساعات، سيطرت عقد الشبكة على بعضها البعض في الخانقة. وقد تم إلغاء أو تأخير أكثر من 1000 رحلة، وتوقفت السكك الحديدية لمسافات طويلة عن العمل

بشـكل صحيح أيضا. أغلقت العديد من الشركات في ذاك اليوم وأرسلت موظفيهـا للمنزل. فقط بعـد أن تم تثبيت نسخة قديمة من برنامج الشبكة، لم يعـودوا إلى الدفـق[1]. وكان هذا أشد انهيار نشهـده شبكة الاتصالات في التاريـخ. في السنـوات التي تلت ذلك، تم إنفـاق مبالغ كبيرة من المال في الولايـات المتحدة وأماكن أخرى على البحث في شبكات الاتصالات موثوقـة. هذا مما لا شك فيه خفض خطر شلالات مماثلة في المستقبل، إلا أن الأهمية الحاسمة لمحـاور الشبكة يعني أنه ما زالت هناك حاجة للتيقظ المستمر.

بواسطة سرعة الضوء

وقـد أطلـق تشارلز كويـن كاو، الذي حصـل –عندمـا حصلت ثورة الاتصالات مـن خلال ظهور كابلات الأليـاف البصرية في الثمانينيات– علـى جائزة نوبل في عـام 2009، فكرة أن الضوء يمكن أن يحمل إشارات الاتصـالات عـبر الألياف الزجاجيـة. في ذاك الوقت ومـع ذلك، لم يكن مـن الممكن لصنيـع الألياف الزجاجية لأكثر من بضعـة أمتار طويلة. وقد تم تعزيـز القدرة على تنفيـذ الفكرة عبر اختراعات نفـذت في الستينيات والسبعينيات لتحسين الخصائص البصرية.

ويمكن للكابلات البصرية الحديثة الآن أن تربط نقطتين في بعد يصل إلى 150 كيلومـترا دون الحاجة إلى مكبر للصوت. هذا هو أكثر بكثير مما يمكن

(1) Network World (January 22، 1990).

للكابـلات الكهربائيــة النحاسية إدارته. ما هو أكثر مــن ذلك، فقد ابتكر خــبراء الزجاج حيلة ذكية لتكثيــف إشارة الضوء علــى نقطة في منتصف الطريــق من دون الاضطرار إلى اقتحام الألياف. وهذا ما يجعل اتصالات الألياف لمسافــات طويلة دون الحاجــة المحتملة لمنتجـات الإلكترونيات المعقــدة. وشهدت نفس الفترة تطــور الليزر، الذي وفّر مصدر ضوء قوي لاستخدامــه في الألياف الزجاجيــة. وأعطى ظهور الليــزر المدمج كفاءة تكنولوجيا الأليــاف الضوئية دفعة إضافية. على مــر السنين، اكتشف أنه يمكن ضغط البيانات أكثر وأكثر لأسفل حبل واحد من الألياف الزجاجية.

السرعــة التي يطلق فيها الليزر الضوء في ازديــاد مطرد، وإدخال مختلف الألوان لليزر يعني أن عدة أنواع من الضوء يمكنها السفر إلى أسفل الألياف نفسه في نفس الوقت. وتستخدم الاتصالات الكبيرة عبر المحيط الأطلسي في الوقــت الحاضر أربعين لونا مختلفا، ويبلــغ إنتاج طاقتها المجمعة حوالي تيرابت في الثانيــة الواحدة. في المختبر، واحد من الألياف غير قادرة على نقــل 26 تيرابت في الثانية الواحدة، وهو ما يكفــي لإرسال محتوى شبكة الإنترنت بالكامل في أقل من دقيقة.

هــذا التقــدم الباهر الذي حقــق بسرعة الكابــلات النحاسية، وصلات الميكروويف، وأقمــار الاتصالات على الطراز القــديم. عندما تم توظيف وصلات الأليــاف الزجاجية تجاريا في مطلــع الثمانينيات، تم استخدامها كالعمــود الفقري للشبــكات التي تحمل أثقل شبكة مــرور. وقد انتشرت شبكة من كابلات الألياف البصرية الممتدة بسرعة عبر قيعان المحيطات في العالم. في ذروة ازدهار الإنترنت، كانت قد وضعت العديد من الكابلات

الجديدة عبر المحيطات الأطلسي والهادي.

وفي الوقت نفسه، طوّق النظام المعروف باسم إفريقيا واحدة تلك القارة منذ عام 2000. نحن نشهد حاليا طفرة جديدة في مد الكابلات الضوئية التي من شأنها أن تؤدي إلى العشرات من الألياف البصرية تحت البحر الكابلات الجديد بحلول عام 2015. هذا سيؤدي إلى خلق شبكة عالمية حقا مع مئات الآلاف من الكيلومترات من الكابلات الضوئية، كل قادرة على نقل العديد من تيرابت في الثانية الواحدة. وفي الوقت نفسه، النحاس هو أيضا وسيلة لإعطاء تدريجيا الألياف الزجاجية في الشعيرات الدموية في الشبكة. ويرتبط بالفعل أكثر من مليون منزل أمريكي مباشرة بشبكة الألياف البصرية، ولن يمر وقت طويل جدا قبل أن يصبح لنا صلات جيجابت لأبوابنا بما فيه الكفاية لنقل هذا الكتاب بأكمله في أقل من ثانية. ستصبح تكنولوجيا الاتصالات البصرية بذلك تقع في قلب ثورة المعلومات المستمرة في القرن الحادي والعشرين.

تطور الإنترنت

يعني النمو السريع في قدرة الاتصالات أن بنية الشبكات تغيرت تدريجيا أيضا. يمكننا أن نرى هذا بكل وضوح مع الإنترنت. وكان الجنود مقتنعين أن التكنولوجيا التي أصبحت إنترنت حريصة على تجنب إعطاء الشبكة أي نوع من السيطرة المركزية الضعيفة. بدلا من ذلك، فإن كل جهاز كمبيوتر يكون قادرا على أن يقرر لنفسه عن طريق أي من جيرانه يريد نقل المعلومات الخاصة به، فيمر عليه من واحد إلى آخر، مع كل اختيار

للخطـوة التالية في الطريق. تسافر البيانات بالتالي إلى وجهتها، كل خطوة تحـدث بسرعة كبيرة بحيث يبـدو أن هناك تدفق مستمـر ذهابا وإيابا بين اثنين من أجهزة الكمبيوتر الموجودة على مسافة بعيدة.

ويعنـي الهيكل اللامركزي أن الإنترنـت كانت قادرة على النمو بسرعة للغاية. يمكن لأي شخص يمكنـه الاتصال بسهولة جدا ببساطة من خلال تركيـب كابل لأقرب إنترنـت. ولم يكن مطلوباً إذن من أحد، ولم يكن من ضرورة لأي تعديلات في مكان آخر في الشبكة. الهيكل نفسه أيضا جعل الإنترنـت قوية للغايـة. إذا كان لاتصال أن يفشل في مكان ما، فإن أجهزة الكمبيوتر المجاورة المستقلة تقرر كيفية تحويل حركة نقل البيانات.

وبعبارة أخرى، فإن الشبكة قادرة على إعادة تنظيم نفسها. وقد صممت الإنترنت لتكون ذاتية الإصلاح، وذاتية التنظيم والتعلم. هذه كانت وتيرة النمو، ومع ذلك، بدأت بعض أجهزة الكمبيوتر تقوم بدور أكثر أهمية من غيرها. ربما كانت موجودة علـى مقربة من اتصال عبر المحيط الأطلسي، علـى سبيل المثال، أو أنها كانت في مـكان فيه عدد أكبر من المستخدمين. فسرعان ما أصبحت جاذبة للاتصالات الجديدة كذلك[1].

ونتيجة لذلك، تطورت الشبكة بسرعة نحو هيكلها الهرمي الحالي. من

(1) This is now a well–studied phenomenon. See، for example، Barabási، A. L.، and Albert، R. (1999). Emergence of scaling in random networks. Science، 286(5439)، 509–512; Albert، R.، Jeong، H.، and Barabási، A. L. (2000). Error and attack tolerance of complex networks. Nature، 406، 378–382; Albert، R.، Jeong، H.، and Barabási، A. L. (1999). The diameter of the World Wide Web. Nature، 401، 130–131; Barabási، A. L. (2001). The physics of the Web. Physics World، 14(7)، 33–38.

حيث سرعة الاتصال، هذا هو الهيكل الأكثر فعالية. لقد وصلنا الآن إلى نقطة، مع ذلك، حيث أصبحت المراكز هامة بحيث ازداد الخطر.

المحاور تصبح أكثر سخونة

هناك مشاكل حقيقية اليوم على مستوى محاور الشبكة حيث تتلاقى تدفق البيانات. على الرغم من أن النحاس قد أعطى الضوء تدريجيا كوسيلة لوصل المسافات الطويلة في اتصالات منذ 1980، ما زالت الأنظمة إلكترونية مواصلة بسطوة ضمن محاور الشبكة. لمعالجة البيانات في هذه المحاور، يجب تحويل الضوء إلى إشارات كهربائية. ثم يتم فحص البايت، وفرزها، وإعادتها إلى النور لإحالتها إلى وجهتها.

وتعمل أجهزة الكمبيوتر المتخصصة المعروفة باسم تشغيل كأجهزة توجيه على مدار الساعة للحفاظ على تدفق حركة المرور على الإنترنت. أهمية هذه الأجهزة واضحة من المباني التي تقع على المحاور. الأمن أهمية قصوى: هذا واضح من جانب صاحب مصنع كبير جدا أمام الأبواب الرئيسية، والتي هي متينة بما فيه الكفاية لصد شاحنة. يتم أخذ بصمات الزوار بشكل روتيني. في الداخل، يعمل تكييف الهواء مع همهمة ملحوظا.

تصبح كل هذه المسارات أكثر سخونة، ويستغرق الكثير من القوة للحفاظ على الإلكترونيات دون نقطة الغليان. تستغرق نظم التبريد على الأقل في الغرفة بقدر أجهزة التوجيه أنفسها. وتقف الآلاف من البطاريات جنباً لتسليم بضع دقائق من الطاقة في حالات الطوارئ في

حالـة حصول أي أمر خاطئ. وتقوم أجهزة التوجيه في هذه المباني بمعالجة البيانات بمعدل لا يصدق. وقد انخفض الوقت اللازم لتوجيه كل قطعة من البيانـات من 50000 عاملا تقريبا على مدى العقود الأربعة الماضية. شبكة العقـد اليوم ليس لها سوى عدد قليل مـن النانوسيكند العملية لكل حزمة من البيانات (بحد أقصى 1500 بايت).

وكلمـا ازدادت قدرة وصلات الاتصـالات، يجب على الإلكترونيات في العقد التسريع أيضا. القدرة على تطوير وصلات الاتصالات أسرع من الإلكترونيـات الدقيقـة، والتي تعطى مشكلة على الـدور الأساسي الذي تلعبه هـذه الأخيرة في عقد شبكتنا والمحاور. سـوف تأتي نقطة لن تعود فيهـا الإلكترونيات قادرة على مواكبة مضاعفة الأليـاف البصرية السنوية في الأداء. الأداء الإلكـتروني الزوجـي يحصل فقـط كل 18 شهرا (قانون مـور)، مما يعنـي أن التصغير الإلكـتروني والتحسين لا يمكنـه مواكبة نمو شبـكات البيانات البصرية. الفجوة بين قدرة الألياف والقدرة الإلكترونية تتسـع لذلك بسرعـة. إذا أردنا الوصول إلى النقطـة التي لم تعد قادرة على الإلكترونيات مواكبتها، فإن النمو يتوقف.

والوضـع أسـوأ في أكـبر المحـاور المركزيـة، لأنهـا الأولى في توظيف وصلات النطـاق العريضة، الأمر الذي يجعلها نقطة اتصال أكثر جاذبية، وبالتـالي يتسـارع نمو الحركة كذلـك في هذه المواقع. لذا مـاذا يمكننا أن نفعـل لمنع محاور لدينـا من المماطلة؟ سألنا هـارم دورين، وهو مدير مركز بحـوث كوبرا وأستاذ في معالجة الإشـارات الضوئية في جامعة ايندهوفن للتكنولوجيـا في هولنـدا. دورين واحد مـن العلماء الذيـن يعملون لحل

مشكلــة المحاور. ويعتبر التبديل البصري الذي طوّره في السنوات الماضية الأخيرة الأكثر تطوراً في العالم.

(المشكلــة الرئيسية هي أن كميــة هائلة من الطاقة التي تستهلكها أجهزة التوجيــه الإلكترونيــة)، كما يقول. (إنهــا مضيعة حقيقيــة. وتتسبب بها النفقــات العامة الهائلــة لمجرد إعطاء بيانات في اتجــاه مختلف. الموجهات يجــب أن تفك كل بايت علــى حدة. إنها أقرب إلى تفريــغ شاحنة لقراءة كافــة التسميــات على حمولتها ومــن ثم تحميل كل شــيء إلى الوراء على شاحنة أخرى. إنها كلها غير فعالة بشكل كبير). وتستهلك أحدث أجهزة التوجيه تستهلك أكثر ميغاوات من الكهرباء. هذا كثير، وخصوصا عندما تستهلك كمية الطاقة اللازمة لعملية كل بايت. يستغرق 100000 أضعاف قــوة لتبديــل بايت واحد مما يحتــوي البايت نفسه في الواقــع، وهذا فقط للتجهيز الإلكــتروني والتوجيه. وكقاعدة عامــة، كل واط يتطلب معالجة أخرى لواط آخر في نظام التبريد.

(استهــلاك الطاقــة هي المشكلــة الأساسية مع الإلكترونيــات)، يضيف داريــن. ويقول (إذا كنــت ترغب في تسريــع الترانزستــورات، يجب أن تتحــرك الإلكترونات بشكل أسرع. مضاعفة سرعتك يعني أربعة أضعاف تقريبــا من استخدام الطاقــة. إنه قانون بسيط للفيزيــاء للحد من استهلاك الطاقــة، فهو يساعد على جعل الإلكترونيات أصغر. بهذه الطريقة، يمكن أن تحــول الإلكترونات على مسافــات صغيرة، بشكل أســرع وتستهلك طاقــة أقل. ولكن منذ اقترب حجــم الترانزستور من الأبعاد الذرية، أصبح تصغير مستقبل الإلكترونيات إشكالية. لذا تزايدت سرعة وسائل استخدام

المزيد من الطاقة. إذا كنت تريد الثراء بسرعة، يمكنك أن تفعل أسوأ من بيع المراوح وعناصر التبريد لهذه النظم).

هناك مخاوف مماثلة مع معالجات الإشارات الإلكترونية، وهذا هو السبب في أن السرعة من المعالجات في أجهزة الكمبيوتر لدينا توقف الارتفاع. عندما تصبح أسرع من الغيغا بقليل، فإنها تصبح ساخنة جدا للاستخدام. ويسبب بذلك زيادة في استهلاك الطاقة لتوجيه البيانات مشاكل كبرى عدة. لليس فقط لأنه يعني فواتير كهرباء أعلى بكثير ولكن أيضا زيادة انبعاثات توليد الكهرباء، ومزيدا من الضغوط على الشبكة. الإنترنت بالفعل يستهلك طاقة أكثر من شركات الطيران العالمية.

نحو معالجات بصرية

في جميع أنحاء العالم، يبحث العلماء عن حلول للمشاكل التي نشأت في عقد الإنترنت الرئيسية. النهج يختلف من إنشاء هياكل لتطوير بروتوكولات كمبيوتر جديد أو تغيير مكونات المحور. إستراتيجية هارم دورين هي استبدال بعض من إلكترونيات المحور بالدوائر الضوئية. هو وزملاؤه يعملون على مكونات قادرة على توجيه الضوء بشكل مباشر دون الاعتماد على الإلكترونيات. (يمكنك، على سبيل المثال، التلاعب بلون نبضة ضوء)، يوضح دورين. (وبعبارة أخرى، يمكنك لتبديل نبضة من ضوء لون واحد من قناة إلى أخرى. كنا قادرين على إظهار التبديل خاليا من الأخطاء باستخدام هذه المبادئ بسرعات تقترب من تيرابت في الثانية الواحدة. استخدام الطاقة الضوئية التبديل هذه المبادئ بشكل

مستقل عن معدل الواط.

وبعبارة أخرى، إذا ارتفع معدل الواط مع عامل اثنين، يتم تقليل الطاقة لكل واط بمعامل اثنين). (نحن نركز على تحقيق اختراقات في الدوائر الضوئية من شأنها أن تجعل سرعة التحول ممكنا. العناصر البصرية لديها القدرة على القيام بذلك دون توليد الحرارة أكثر تدريجيا كما هو الحال مع الإلكترونيات. بل إنها فكرة خاطئة لتحل محل الأجهزة الإلكترونية البصرية لنظرائهم من دون تغيير بنية هذه النظم).

وثمة مسألة رئيسية بالنسبة للأبنية الإلكترونية وهي أن كل شيء يجب أن تتم معالجته بشكل منفصل. نتيجة لذلك، يحتاج المرء إلى مكان الملايين من الأجهزة على شريحة واحدة. وبحسب دورين، الاستعاضة عن ذلك من قبل الدوائر الضوئية سيضعنا بسرعة وجها لوجه مع حجم القضايا الهامة. والسبب هو واحد أساسي: الطول الموجي للضوء المستخدم في الألياف البصرية 1.5 ميكرومتر، والذي يحدد على الفور الحجم الأدنى للحد الممكن. ويشار إلى هذه الظاهرة على أنها تحد الحيود. وقد كسر هذا الحد سعره. وقد ظهر مؤخرا مع هذه الأجهزة أن لها أبعاد تفطر حد الانكسار. هذه الأجهزة معرضة لخسائر مرتفعة جدا وغالبا ما تعمل في درجات حرارة أقل بكثير من درجة حرارة الغرفة. وهذا يجعل التطبيق في النظم الحقيقي صعبا للغاية.

طريقة أخرى لزيادة سرعة التحول هي استخدام تقنيات مختلفة، بحيث لم يعد كل واحد يحتاج إلى بت تفتيشها. بهذه الطريقة، هناك حاجة إلى عدد أقل من المعالجات، وتقنيات الإنتاج الضخم أيضا بحاجة إلى تطوير

الدوائـر الضوئية إذا أن تنجح. وتحتـاج الإلكترونيات كذلك لتطوير أكثر مـن فـترة زمنية طويلـة قبل أن تتقـن التقنيـات اللازمة، ويمكـن أن يصل الإنتـاج إلى درجة يمكن تحجيمها. لإنتاج كميات كبيرة من الإلكترونيات الدقيقـة، على سبيل المثال، تستخدم رقاقة الماسحات الضوئية وتوضع كل المكونات الإلكترونية على صفائح رقيقة من السليكون. ثم تضيف آلات الربط الفائقة السرعة التوصيلات الكهربائية. على النقيض من ذلك، ربط شرائـح الضوئيـة لكابل الألياف الضوئيـة لا يزال يدعـو إلى توخي الدقة والمهـارة اليدوية المدقعة، وخبرة كبيرة لتوصيـل الألياف إلى رقاقة واحدة تلـو الأخرى. قد لا تكون هذه مشكلة إذا كنـت تريد فقط جعل الرقائق قليلة لاستخدامها في الاختبـارات المعملية، ولكن الإنتاج الضخم سوف يتطلب تطوير تكنولوجيا جديدة.

الحاجة للذاكرة البصرية

اختراقـات عدة ضرورية، وبالتالي، قبل البـدء في توجيه ميزة معالجات الإشـارات الضوئيـة. وهناك عقبـة أخرى كبيرة أيضا: جهـاز التوجيه لا يحتـاج فقط إلى معالـج سريع. إذا وصـل اثنين للحـزم في نفس الوقت، يجـب أن يتـم ترحيل عبر القناة نفسهـا، واحد منهم يمكـن أن يعقد مرة أخـرى بشـكل مؤقـت. هذا يشـير إلى أن تخزيـن البيانـات ذات أهمية رئيسية. الموجهات الحالية مع ذاكرتها الإلكترونية تستخدم ذاكرة متعددة الرقاقات أصبحت شائعة في أجهزة الكومبيوتر الحالية.

يحتاجـون المليارات من خلايا الذاكـرة، ولكن يمكن بسهولة أن تكون

هذه تركيبها على شريحة إلكترونية. (يمكنك ببساطة أن تفعل نفس المهمة بصريا)، يقول دورين: (للضوء حدود خطيرة عندما يتعلق الأمر ببناء الذكريات). وقد حاول دورين وزملاؤه مجموعة متنوعة من التقنيات للخروج بالذاكرة البصرية. ويمكن استخدام الحلقات، على سبيل المثال، لإبطاء إشارة ضوئية في كابلات الألياف البصرية. وتجبر الحلقة الضوء على الالتفاف بحيث يصل في وقت لاحق قليلا. ولكن هذا يتطلب الكثير من الملايين من الكيلومترات من الألياف، في الواقع، على فكرة سريع الموجه وهو اقتراح غير مقبول. يمكنك أيضا محاولة نقل الضوء بشكل أبطأ قليلا، وسرعة تعتمد على خصائص الوسيلة التي هي السفر. يمكن لبعض المواد أن تبطئ الضوء بعامل مليون. ولكن هذا يتم على حساب كمية من البيانات التي يمكن إرسالها، ويبقى بحاجة إلى مسار الضوء بقياس عشرات من الكيلومترات، والتي لا يمكن أن تكون متكاملة على شريحة. وقد يكلف إبطاء الضوء الكثير من الطاقة.

الطريقة الأخرى لجعل الذاكرة بصرية هي تصميم التبديل البصري. وقد قام العلماء في معهد كوبرا باستخدام ليزر صغيرة تعمل جنبا إلى جنب كعنصر ضوئي مع عاملي استقرار، ويمكن بالتالي العمل على خلايا الذاكرة. مؤخرا، بدأت مجموعة دورين بالسعي إلى حل مختلف. بدلا من التخزين المؤقت للحزم مع الوسائل البصرية، تم تحويل واحدة من الحزم لطول موجة مختلفة. وهكذا، بدلا من التخزين المؤقت للبيانات، تم استخدام ألوان مختلفة للاحتفال بالحزم المختلفة التي تصل في نفس الوقت. (لقد حسبنا مقدار الطول الموجي المحولات التي يلزم اتخاذها

في مركـز عقد الإنترنـت، ونعتقد أنه يمكن القيام به. كما علمنا مؤخرا أن المشكلـة في الحزم في وقت واحد ليست مشكلـة التخزين المؤقت ولكن مشكلة السيطـرة. ويمكن حل قضايا ومسائل السيطرة على تحويل الموجة اليوم).

لن تحـل الإلكترونيات على الأرجـح أبدا محل البصريـات. الاستخدام السريـع والمنخفض لاستهـلاك الطاقة للتقنيـات البصرية واعـد، ولكننا بحاجة لمعالجة نقاط ضعفـه أيضا. فإنه على الأرجح لن يكون من الممكن بنـاء معالجات كبيرة مثل تلك التي اعتدت علين تحقيقها مع الإلكترونيات الدقيقـة. (هذا قـد يعني أن لدينا تنظيم الشبكـة بالكامل بشكل مختلف)، يخلص هارم دورين.

لـذا فإن الثـورة البصرية تتطلـب أيضا إعـادة تفكير أساسيـة لشبكات الاتصالات من نقطة المعماري للعرض. الحلول في حقل واحد قد تسبب خطـر اختناقات البحوث في بلد آخر. ومع ذلك لا يمكن حل المشاكل في مجـال واحد أو الابتعاد عن طريق التحول إلى تقنية مختلفة أو منهج البحث العلمـي. شبكات الاتصالات أنظمة معقدة تتكون من العناصر التي يمكن أن تؤثر في بعضها البعض بقوة.

أنت لا تعرف متى سـوف يتم إرسال حزم البيانات، مما يعني أن طوابير عـدة يمكـن أن تتراكم في المراكـز. (إذا كنت تريد تجنـب الاصطدامات في المراكـز، تحتاج إلى الكثير مـن التنسيق. إنها بالضبـط نفس الشيء مع السيارات والطـرق السريعة)، يقول دورين. ويضيف (إذا كان هناك نوع مـن وحدة التحكـم السوبر التي بإمكانها أن تقـرر متى ننطلق في رحلة،

سيكون لدينا حل لكل مشاكل الازدحام في المخ[1]).

وكان ينظر إلى عدم وجود الرقابة المركزية كميزة عندما كان يجري تصميمها على الإنترنت. ومع ذلك، فقد أصبح الأمر الآن يمثل مشكلة، كما أنه يجعل من الصعب جدا تغيير الأشياء. (استبدال بطاقات الشبكة في أجهزة الكمبيوتر في العالم بأسره ليس خيارا. أكثر ما يمكن أن نأمل به هو مزيد من التنسيق على الطرق المزدحمة في الإنترنت. ولكن حتى ذلك سيكون تحديا كبيرا)، يحذر دورين. (وهنا تكمن أهمية البحوث المتعددة التخصصات. لا يمكنك تغيير المكونات فقط، عليك أن تفكر في الشبكات والبروتوكولات في نفس الوقت).

الوصفات الهجينة

وفي الوقت نفسه، تستمر الإلكترونيات الدقيقة والتكنولوجيا البصرية بمواصلة المعركة على جبهات عدة في آن واحد. ويعتقد دعاة الإلكترونيات أنه يمكن التغلب على العقبات التي تعترض مكونات أسرع وأصغر، وأكثر اقتصادا، في حين أن الضرر يواصل حلها. كلاهما حجج وجيهة، ويجري تطوير تقنيات بشكل متواز. في جميع الاحتمالات، لن يكون هناك وصفة سحرية واحدة بإمكانها أن تجلب اختراق مراكز للإنترنت. أي حل يخرج في النهاية من المرجح أن يكون مؤلفا من عدد من العناصر المختلفة.

(1) Dorren، H.J.، Calabretta، N.، and Raz، O. (2008). Scaling all-optical packet routers: How much buffering is required? Journal of Optical Networking، 7(11)، 936-946.

وبالتـالي، في الممارسـة العمليـة، لـن تحـل التكنولوجيا البصريـة محل الإلكترونيـات في جميـع المجـالات وكل التكنولوجيـا بنقـاط قوتهـا وضعفهـا. الإلكترونيـات ما زالت تحصـل عندما يتعلق الأمـر التصغير، ولكن البصريات تتفوق من حيث السرعة ومنخفضة استهلاك الطاقة.

لهـذا السبب، فإن عقـدة الاتصالات البصرية تماما مـن غير المحتمل أن تحـل محل نظيرتهـا الإلكترونية إلا في الحالات التي يكـون فيها الكثير من الضـوء هو حقا أكثر ملاءمـة. ونحن في طريقنا للقيام بـه على الكثير من الإلكترونيـات العادية في هذه المحاور مـن الشبكة. سنقوم على الأرجح بتخزيـن الكثير مـن المكونات الإلكترونيـة للعمليات التـي تدعم شرائح الضوئيـة. ولكـن سوف تصبح أسـرع المكونات البصريـة على الأرجح. وقـد نكون قادرين على التحـول بسرعة إلى رفع مستـوى التيرابت بهذه الطريقـة. خطوة أولى نحو حل مختلط هـو تطوير نظم الكهربائية الضوئية المهجنـة للسرعة باستخدام البصريـات والإلكترونيات لتخزين المعلومات والحسابات.

نهـج مماثل مـن المحتمل أيضـا أن يكون اعتمد في أجيـال المستقبل من معالجات الإشارة في أجهـزة الكمبيوتر. في غضون ذلك، عند المرور في المراكـز، سوف تتطور في اتجـاه الشبكة طبولوجيا مختلفـة. كانت حركة النقـل الجوي مـن خلال شبكة نمـط التنمية مشابهة لشبكـة الإنترنت في العقـود الأخيرة. كما نمت حركـة النقل الجوي أكثر كفـاءة من أي وقت مضى، والمطارات إلى مراكز معينة تطور فيه عدد كبير من الرحلات الجوية المتقاربة.

كانت النتيجة ازدحام شديد بحيث أصبحت المحاور المركزية غير جذابة منذ حوالي 10 سنوات، وعند هذه النقطة أصبح أكثر ملاءمة لإقامة روابط بين المطارات الإقليمية الأصغر. هناك مفاضلة مماثلة في شبكة الاتصالات بين السلطة وتجهيز المراكز والمحتملة للاتصالات جديدة، قد يعفى عن طريق إنشاء مراكز اتصالات إضافية في مواقع أخرى. وهذا مجرد مثال واحد من التطور المعماري.

التفكير العالمي

وسعة الشبكة ستواصل النمو في المستقبل المنظور، مما يساعد على فتح فرص جديدة تماما كما رأينا سابقا مع ظهور الهاتف والبريد الإلكتروني. العديد من التطبيقات الجديدة موجودة بالفعل ولكن تجري مرة أخرى بواسطة (عامل تهيج) الشبكات التي تكون بطيئة جدا. أنت لن تقوم بتحميل شريط فيديو إذا كان لديك إلى الانتظار ساعة. كل شيء يجب أن يكون سريعا حقا، وإلا فإننا لن استخدامه. سعة الشبكة تنمو بسرعة كبيرة بحيث إن اتصالات غير محدودة للفيديو سوف تصبح ممكنة، مما يجعل الحياة أكثر إمتاعا لأجداد في باريس، لنقل، يشاهدون شريط فيديو حي لأحفادهم في عطلة في ميامي. ويمكن تكبير تكنولوجيا الاتصالات في العالم بشكل كبير المسنين. وسوف يكون من الممكن أيضا حضور مؤتمرات علمية أو تجارية عن طريق وصلة الفيديو و بالتالي مراقبة العروض وطرح الأسئلة كما لو كنت هناك فعلا.

ولكن، لتكنولوجيا الاتصالات مغزى أوسع بكثير أيضا. لإعطاء أمثلة

قليلة، إنها مفتاح التعليم العالمي، وهي أداة لجلب الدول معا، وسيلة لجعل مدننا أكثر ملائمة للعيش، وجواز سفر لتعزيز الرعاية الطبية. ميزات تكنولوجيا الاتصالات موجودة في جميع أنحاء هذا الكتاب بوصفها أداة رئيسية لتحسين مصير البشرية، كما أنها تجعل الجغرافيا لا صلة لها بالموضوع على نحو متزايد.

هناك ما هو أكثر بكثير من القيام بالاتصالات التجارية ببساطة: إنه يؤثر أيضا على الطريقة التي نفكر ونتحدث ونتصرف بها. الاتصال يجمعنا. لا أحد يتوقع من فرنسا وألمانيا خوض حرب مع بعضها البعض مرة أخرى، بل لقد نمت مترابطة جدا ليصبح من غير الممكن تصوّر شيء من هذا القبيل.

4 - الوصول للجميع

غالبية سكان الأرض لا يملكون الهاتف أو البريد الإلكتروني، والعديد من الأماكن ما زالت بعيدة عن متناول شبكات الاتصالات الثابتة. يحول هذا الأمر دون التنمية بشدة، وهذا يعني أن الرؤى الجديدة تدخل ببطء وأن الخدمات الأساسية مثل توفير المياه تستند على معلومات غير دقيقة. عدم وجود تبادل المعلومات أيضا عقبة أمام تحسين الزراعة والتعليم ومجالات أخرى كثيرة. حتى في مجالات مرتبطة جيدا، الشبكات أقل كثافة مما هو مطلوب لتحسين سلامتنا والرفاه.

كانت بحاجة إلى شبكة مترابطة إذا كنت تريد أن تبقي على أعلى نشأة الزلازل، والفيضانات، وتغير المناخ، والعديد من الأنظمة غير مستقرة

أخرى. الندرة في الشبكات يعني عدم وجود رقابة. يمكن لتصنيع تغطية شبكة أكثر اكتمالا أن يساعد في تطوير واستقرار عالمنا. ومع ذلك، فإن أي محاولة لتمديد شبكات يثير مشاكل كبيرة، الأمر الذي نكتشفه في هذا الفصل باستخدام مثال شبكات الراديو. ينبغي لنا أن نأخذ في عين الاعتبار، على الرغم من ذلك، أن ظواهر مشابهة تتجلى في الشبكات الأخرى كذلك، بما في ذلك شبكات الكهرباء والشبكات الاجتماعية الموجهة للتعليم.

لأول وهلة، جهاز الراديو هو عبارة عن تقنية ممتازة لملء الفجوات التي خلفتها تكنولوجيات الاتصال الأخرى. ولكن قدرته محدودة، نظرا لمحدودية الاتصالات اللاسلكية بواسطة القوانين الأساسية للفيزياء، والتي تلزم شركات البث والاتصالات، على سبيل المثال، أن تكون خارج المعركة في الأثير. يزداد عدد من محطات الراديو والتلفزيون والهواتف المحمولة واتصالات الأقمار الصناعية لا محالة، ويملأ ما يصل كل رقعة من الطيف الكهرومغناطيسي التي يمكن استخدامها للبث الإذاعي. وقد طوّر النمط التاريخي تقنيات جديدة.

كانت موجة المحطات متوسطة العمر الأولى لاستخدامها من أجل البرامج الإذاعية. المذيعين اعتمد المذيعون فيما بعد على موجة الإف. إم.، واستغلوا ترددات أعلى بأسعار أقل. أصبحت أشباه الموصلات والإلكترونيات الجديدة ث أسرع وتوصّل جلب الوصول إلى سرعات أعلى من ذلك. عندما تمّ ملء أول معيار عالمي للاتصالات المتنقلة، تم تشغيل فتحات جديدة وفتح فضاء جديد حتى في التردد المزدوج.

ومــا زال أحدث جيـل من الهاتف المحمـول في التكنولوجيـات المتنقلة مثل الاتصــالات السلكية واللاسلكيــة العالمية يعمل مع نظــام على أعلى الترددات.

كلمــا ارتفعت الوتيرة، أصبحت بحاجــة إلى إلكترونيات بوتيرة أسرع، وحصلــت في المقابـل علـى زيادة القـدرة، وهذا هـو القانـون الطبيعي والواضـح للطيـف الكهرومغناطيسي. بترددات حــوالي 60 غيغا هيرتز، يمكنــك تقديم لكل مستخدم عدة غيغابايت في الثانية وفيديو عالي الجودة ذات اتجاهــين. ومع ذلك، هناك ثمن يجـب دفعه للترددات الأعلى: فهي تخفضـ النطاق الخاص بــك. استيعاب الترددات العاليــة أكثر سهولة من الغلاف الجوي، الأمر الذي يرجع أساسا إلى الماء في الهواء.

تستوعــب العقبات أيضا الترددات الأعلى بسهولــة أكبر. الإستراتيجية المتبعــة للتعامل مــع الأمر هي عــادةً تقسيم المنطقة لخلايــا أصغر، مما يتيح تثبيــت أجهزة الإرسال مــن دون أن تتداخل ببعضهــا البعض. على أعلى الترددات، تبدأ الموجات الإذاعية تدريجيا بالتصرف مثل الأشعة الضوئية، بمــا في ذلك عدم القدرة المتنامية لاختراق العقبــات، وهذا يحد من زيادة حجــم الخلايا. لأعلى القدرات، سيكون علينــا في نهاية المطاف الحد من نطاق كل هوائي لغرفة واحدة.

من الواضح أن هناك مفاضلة في الشبكات اللاسلكية بين القدرة والنطاق. عندما تتقلص الخلايا، فإنها لا تخدم منطقة صغيرة، ولكنها في الوقت نفسه، لتوفـر المزيـد من القدرة للمستخــدم الواحد. في الواقع، يعتقــد بعض الخبراء أن تكنولوجيــا الجيل الثالث للهاتــف الخليوي لا تزال تستخــدم الترددات

المنخفضة جدا عند الخلايا الكبيرة نسبيا، وعدم كفاية القدرات المتوفرة في المناطق المزدحمة بالسكان، حيث يجب أن تكون مشتركة بين الكثير من المستخدمين. لقد تغيرت العلاقة بين القدرة والمدى مع تطوّر التكنولوجيا. ويستمر تطوير التقنيات لاستغلال موارد الشبكة المحدودة بشكل أكثر كفاءة.

يمكن الحد من عرض النطاق الترددي اللازم لحمل الصوت والفيديو، بحيث تستخدم مساحة تردد أقل من دون أي تخفيض في النطاق. تستخدم التقنيات الجديدة للتلفزيون الرقمي التفاعلي، على سبيل المثال، كميات أقل من الطيف التقليدية التناظرية لأساليب البث التلفزيوني، وهذا هو السبب في توقف البث في العديد من البلدان، وتحرير الفضاء الرقمي للقنوات إضافية. كما تم تطوير مجموعة واسعة من التقنيات الأخرى في العقود الأخيرة لاستخدام أفضل من عرض النطاق التردد المتاح. ويمكن إرسال ترددات أخرى عندما يكون ذلك أكثر كفاءة، ونشر الإنتاج عبر عدد أكبر من نطاقات التردد بحيث يمكن تصفيتها على نحو أكثر فعالية. وتستند أيضا إلى الشبكات اللاسلكية الكمبيوتر (واي فاي) المستخدمة حاليا في العديد من المنازل وأماكن العمل على هذا النهج.

جمود الإرث

ولكن هناك طرقا أكثر تطرفا من خلق الفضاء. وأضاف (إذا قمت بتشغيل الراديو الخاص بك، فإنك ستجد امتدادات كاملة من الصمت)، كما يقول سيمون هايكن، الذي قضى مهنته في البحث عن طرق أذكى لاستخدام الطيف البث، مما يساعد على تحسين أنظمة الرادار بشكل ملحوظ في هذه العملية. وهو الآن أستاذ في مختبر الأنظمة المعرفية في

جامعة ماكماستر في كندا. (الكثير من الفضاء في الطيف الترددي فارغ)، يقول هايكن. بعضه لا يستخدم سوى بعض لجزء من الوقت، والبعض الآخر يستخدم بشكل مكثف. وقد تم تخصيص الطيف بدقة متناهية لجميع أنواع المستخدمين، لكنه لا يستخدم دائما بكفاءة.

بحسب هايكن، ينتج عن ذلك ثقوبا كبيرة في الطيف. (إنه في الغالب الصمت، يمكننا زيادة قدرة كبيرة إذا كنا منظمين بشكل جيد، المشكلة تكمن في التنظيم المركزي والجامد لاستخدام الفرقة.) وفرضت الحكومات قواعد صارمة لمنع محطات الإرسال من التداخل مع بعضها البعض. وبالتالي، فإنها يجب أن تكون متباعدة عن بعضها بشكل جيد حتى لا يكون هناك أي تدخل حتى في ظل أشد الظروف غير المواتية. قد يرغب الناس في الاستماع من أعماق مبنى، بحيث يجب على مرسلات البث في الطاقة العالية اختراق كل ما هو الصلب والخرسانة، مما يحد من المزيد من القدرات. الأولوية هي ضمان تدخل خالي الاستقبال في معظم الأماكن المحتملة، وهكذا تنتهي الاتصالات اللاسلكية التي تجري موجهة نحو الحالات القصوى التي لا تنطبق على الغالبية العظمى من المستخدمين في معظم الأوقات. فإنه يضع كل عبء ضخم على القدرات.

ومن شأن اتباع نهج أكثر ذكاء تحرير كميات كبيرة من عرض النطاق الترددي، وتمكيننا من البدء في استخدام كل هذه الثقوب في الطيف. ليس هناك سبب، على سبيل المثال، لماذا مستخدم آخر لا ينبغي أن يشغل مؤقتا قطعة من الطيف، بينما صاحب الترخيص الفعلي ليس بحاجة إليه. (ولكن على المستخدم الثاني يجب أن يكون مرنا للغاية)، يحذّر هايكن.

(يجب أن تكون قادراً على التحول فورا إلى مكان آخر في الطيف إذا كان المستخدم الرئيسي في حاجة فجأة إلى جهازه من جديد).

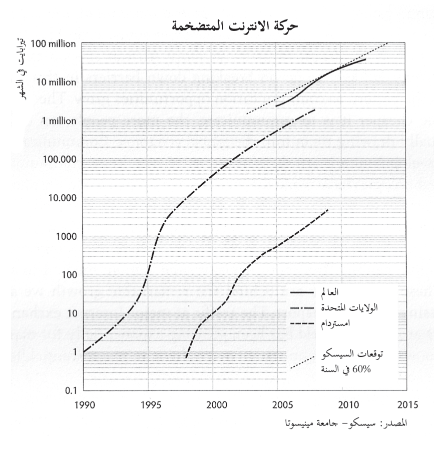
برغم من أنّه يجري اختبار أنظمة من هذا النوع في الوقت الحاضر، استبدال نسبة كبيرة من المخزون العالمي من أجهزة الراديو الحالية محكوم عليه بالفشل. هـذه التكنولوجيـا تراث يجعـل من الصعب تغيـير نظامه. أجهـزة الإرسال والاستقبـال الكلاسيكية والأجهزة المتخصصة لفك الإشارات هي مختلفة عن كل معيار. وجهاز الراديو بحاجة إلى مكونات محددة للتعديل حسب موجات الـتردد. إذا تمّ وضع تصور علـى مستوى الإذاعة المتفق عليه، فإنه من الصعب جدا تعديله، كما سيتم تقديم العديد من أجهزة الاستقبال عديمة الفائدة.

لتجنـب استبدال جميع أجهزة الاستقبـال، يحاول المهندسون في كثير من الأحيان تصميم تكنولوجيـا لاسلكية جديدة والتي تتوافق مع النظام القديم. بعدمـا بدأت موجة الإف. إم. في أوائل الستينيات، كان العديد من تردداتها مستعمـلا من قبل. وبالتالي، كان يجب إخفـاء إشارة الستيريو بذكاء لكي لا ينعكـس الأمر سلباً على المحطـات المحيطة. ويمكن استخـدام تقنيات أكثر مرونـة في بقع جديدة حتى الآن، غير مستخدمة من الطيف الترددي. ولكن يمكنـك أن تكون على يقين مـن أن هذه التقنيات الجديدة ستصبح قديمة أيضا يوما ما، ولكن استبدالها بتقنيات أكثر كفاءة لن يكون أمراً صعبا.

المتلقي يقرر

وقد فكّر سيمـون هايكن بهذه المشكلة، ويرى الحل في نوع جديد من الراديـو الذي يتـم استبدال المكونـات المادية الكبيرة بأجهـزة مرنة يمكن

تكييفها عن طريق البرمجيات، ومن هنا جاء اسم (برمجيات محددة الإذاعة)، وهـذا من شأنه أن يجعل الكثير من التكنولوجيا اللاسلكية أكثر مرونة، بما أن التحول إلى معايير مختلفة يكون مجرد مسألة تحديث البرامج الفورية.



المصدر: سيسكو- جامعة مينيسوتا

مـن الناحية المثالية، فإن هـذا يحدث تلقائيا عبر موجات الأثير من دون أن يكـون المستخدمين حتى علـى دراية بالأمر. يمكن للأمـر أن يسرع إلى حد كبـير التطور التقني والتطبيقـات الجديدة. ولن تعود تقنيات النقل في حاجة إلى تمحيص خلال مفاوضـات مطولة على كل تحديـث. مجهزة بالبرمجيات المناسبـة، يمكن للرقائـق اللاسلكية المصممة على نحو فعـال القفز من وتيرة واحدة إلى أخرى، والتحول إلى تقنيات إرسال جديدة عندما تصبح متاحة. فإنها ستكون أيضا أكثر متعددة الأغراض ويمكن بالتالي إنتاجها بحجم أكبر. ويمكـن للبرمجيات أن تجعل الراديو أكـثر ذكاءً، أو (معرفة،) على حد وصف هايكن. ويمكن تجهيز المعدات لتعقب المحيط بطريقة تشبه الإدراك البشري. (الاستقبال وليس الإرسال ينبغي أن يكون محوريا)، يقول هايكن. (ويمكن

أن يقيّــم ملامح محيطه ويكشف التدخل وقوة الإشارات اللاسلكية. يمكن بعدها للمتلقي أن يبعث هذه المعلومات إلى جهاز الإرسال، والسماح لها بالتكيف وفقا لذلك. وبعبارة أخــرى، فإن المتلقي يقرر كيفية الإرسال). (لقد فكرت في كل هذا من خلال قدر كبير من التفصيل، كما يجب النظر في الكثــير من الأمور. ماذا سيحدث، على سبيل المثال، إذا حاول شخص ما عن عمد الضغط على قنوات الأخرى؟ سنحتاج لإجراءات بإمكانها أن توقف تحكّم موجات الأثير من الأقوى. استقرار النظام هو مسألة أخرى: إذا كان رد فعــل جميــع أجهزة البث الإذاعي من الواحــد إلى الآخر، فإن العواقب قد تكون غير متوقعة. ويمكن لتغير بسيط في مكان واحد أن يثير احتمال انهيار جليدي من التغييرات والتعديلات في وتيرة الإنتاج).

ذلك أن أي مجتمع كامل من أجهزة الراديو المعرفية سيشكل نظاما معقدا مــع كل ما ينطوي عليه. (ويمكــن تجنب هذا النوع من الانحراف)، يفكر هايكن. (ما دامت كل أجهزة الراديو المعرفية تتابع مصلحتها الخاصة، فإن النظــام لا يزال مستقرا. لا يقــوم هذا التحليل على رؤيتي للمجتمع ولكن على أساس الحسابات المستمدة من نظرية اللعبة[1]).

يمكــن للراديو المعــرفي، في الواقع، أن يكــون أكثر استقــراراً من شبكة متآلفــة تستخدم بشكل مكثــف. الشبكات عرضة للكســر عندما تكون الاتصالات اللاسلكية في إطار مــن التوتر عند حدوث كارثة، على سبيل

---

(1) Haykin، S. (2005). Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications، 23(2)، 201-220.

المثـال، أو لمجـرد جمـع حشد كبير. ويمكـن لشبكة معرفيـة التكيف مع الوضـع الجديد والسماح فقط بالاتصالات قصيرة المدى، لنقل، بالإضافة إلى عـدد محدود من الاتصـالات للمسافات الطويلة. سـوف تعيد تجميع صفوفها داخل هيكل من هـذا القبيل تكون وسيلة فعالة للسماح للترشح من خلال المعلومات بسرعة مع استخدام الحد الأدنى من القدرات.

(البرامج الإذاعية المعرفية هي وسيلة عملية للاستفادة من الثقوب الفارغة في الطيـف)، يقول هايكن. ويضيف (سيكون من المفيد استخدام الكفء للأجـزاء غير مستغلـة من الطيـف اللاسلكي. التكنولوجيـا للقيام بذلك متاحـة الآن. ويستخدم مصممو الهواتـف المحمولة بالفعل برامج إذاعية محـددة بحيث منتجاتهـا قادرة على العمـل في الكثير من أنظمـة الراديو المختلفـة، وإذا كان هنـاك بعض التغييرات التقنية، يمكـن تعديلها بسهولة الهاتـف. تقوم جيوش عدة بترقية نظم الاتصـالات الخاصة بهم في نفس الطريق التي يتبعها التقنـي بحيث لا تذهب شعبة واحدة إلى أخرى للقيام بذلـك يدويا). وبرغم ذلك، لا يعتمد استغلال الطيف الترددي فقط على التكنولوجيا.

(لقد تم حفر الجزء القابل للاستخدام من الطيف بدقة، نتيجة مفاوضات دبلوماسية معقـدة. مهما كانت المعدات الخاصة بالراديو ذكية، لا يمكنك الخروج وتدعي قليلا من الطيف غير المستخدم، وحتى لو كنت لا تتعارض مع أي شخص، لا تزال تنتهك الاتفاقات الدولية. وهذا يجب أن يعدل إذا كان الراديو المعرفي سيصبح خيارا).

أفكار سيمون هايكن هي خير مثال على كيفية تحسين الشبكات معقدة

عن طريـق تقليل الرقابـة المركزية والسمـاح للعناصر الفرديـة أن يقرروا بأنفسهـم، الأمر الذي يزيد من القـدرات ويجعل الشبكة أكثر قوة. يركز البحـث على عالم الشبـكات اللاسلكية، ولكن من الواضـح أن الفلسفة الكامنـة وراء الراديـو المعرفي تنطبق علـى مناطق أخـرى أيضا. شبكات الكهربـاء الذكية، على سبيل المثال، تسلم جزءا من سيطرتها المركزية على وحدات صغيرة لامركزية لاتخاذ قراراتها بأنفسها. عليهم أن يتعلموا من (رؤية) ما في محيطهم المباشر، وضبط سلوكهم بطريقة مبرمجة باستمرار تبعا لذلـك. ليس الأمر فقط أكثر مرونة، ولكنه أيضا يجعل الشبكة أقل عرضة للانقطـاع. مراقبة الحركة الجوية يقدم مثالا آخر مفيداً في هذا الصدد. إنه يستحـق النظر عن كثب لأنه يظهر مـدى يمكن تطبيق هذا المفهوم المعرفي في حقل مختلف تماما.

كطير محلّق

تتوجـه شبـكات الحركـة الجوية باتجـاه موثوقيـة المدقع علـى حساب القدرات. في المناطق ذات الكثافة السكانية، الازدحام الجوي هو السبب الرئيسـي في تأخـير الرحلة. كمـا يبحث أحد الركاب مـن نافذة الطائرة الخاصة بك، على أية حال، سوف تكون على علم إلى حد كبير من حركة المـرور الكثيفـة هذا لأنـك نادرا ما تـرى طائرة أخـرى عندما تكون في الهـواء. لا تستخدم طائرات الـركاب ببساطة الغالبيـة العظمى من مجالنا الجوي، بل تطير وراء بعضها البعض في مسار ثابت. لن يكون هناك متسع كبير للطيارين إذا سمح بمغادرة تلك الطرق المنصوص عليها، لكنهم ليسوا

كذلـك. الإدارة مركزية هي بالفعل فوق طاقتها، وإنها لا تستطيع التعامل مـع حركة المـرور التي من شأنهـا أن تـؤدي إلى متاهة إذا مـا تم السماح للطيارين اختيار طرق خاصة بهم.

تقلـق السلطـات أيضـا أن أكـثر الحوادث يمكـن أن تحـدث إذا كانت الطائـرات قادرة علـى التحليق عبر مسارات بعضهـا البعض. ومع ذلك، لا أساس للخـوف. بعـد كل شـيء، ستتمكـن أسـراب مـن الطيور من الدخـول والخروج من مسارات بعضها البعض من دون الاصطدام ودون الاضطـرار إلى الاعتماد على السيطرة المركزية. إنهـم ببساطة على دراية بالجيران الأقـرب، ومتأكدة من أنها تتخذ إجـراءات فورية المراوغة كلما كان ذلك ضروريا.

ومـن المثير للاهتمـام أن نرى كيف يجري تناول هـذه القضية في حالة مـن الطائـرات. وقد تم تطويـر نظم الرحلـة الجديدة التـي لم تعد تتطلب وحـدات تحكم الحركـة الجوية على الإطـلاق. الفكرة هـي أن الطيارين يقومـون برصد جميع الأجواء المحيطة بهـم والتفاعل مع بعضها البعض. في هـذا النظام الجديد، تبلـغ الإلكترونيات الذكية الطيار على متن أي من الطائـرات تقترب في الاتجاه المعاكـس. إذا كان هناك خطر عليهم، يحذّر النظـام التجريبي للانتقال إلى الأعلى أو الأسفـل أو إلى اليسار أو اليمين. في حـال كان قريبـاً، ينصح الجهـاز المطابق في الطائـرة قائدها على تغيير المسـار في الاتجاه المعاكس. النظم على مـتن الطائرتين لا يمكنها الاتصال دائما واحدة أخرى، وبالتالي فإن العنصر الأساسي هو وضع القواعد التي مـن شأنها ضمان أن الطائرات ضبـط مسارها دائما في مثل هذه الطريقة

لتجنب بعضها البعض.

هـذا النهج هو أكثر أمانا، لأنـه أسهم في عمل وحدة تحكم حركة النقل الجـوي بين عدد كبير مـن الطيارين، وكل واحد منهم ليس لديها سوى كميـة صغيرة للقيـام بذلك. كما أنه يجعل السفر علـى نحو أسرع كثيرا. الطـرق المختارة من قبل الطياريـن أنفسهم أقل بما يصل إلى 10 في المئة من الشبكـة الحالية من ممـرات محددة والمنعطفات الحـادة[1]. النظام الجديد لم يعمـل بعـد، ولكن سيكـون مـن الأسهل بكثـير أن أعرض ممـا هو عليه لإصـلاح تكنولوجيا الراديـو. السلطات لديها القـدرة على حمل بضعة آلاف مـن الطائـرات التجارية التي تعمل في سماء القـارة على تبني نظام مختلف لمراقبة الطيران.

أعـداد المتورطين في القضية مـن الخدمات الإذاعية، علـى النقيض من ذلـك، هي مختلفة جـدا: لا يمكنك أن تصدر مرسـوم تغيير جوهري على قاعـدة تثبيت الملايين من أجهزة الاستقبال. ميزة أخرى هي أن هذا النهج يسمـح للتطور التدريجي من المركزية إلى اللامركزية التحكم في الشبكة. كمرحلة أولى، على سبيل المثال، سوف يسمح فقط مع الطائرات والمعدات الجديـدة التحييد عن الطرق المحددة على شرط أنهـا تعود إلى السلطة من برج المراقبة لأنها نهج المطار. وبالمثل، يمكن أن تمنح البرمجيات التي تسيطر عليها استقبال المزيد من الحرية عن غيرها، مما يتيح الانتقال التدريجي.

(1) Hoekstra، J. M.، Van Gent، R. N. H. W.، and Ruigrok، R. C. J. (2002). Designing for safety: The "free flight" air traffic management concept. Reliability Engineering and System Safety، 75(2)، 215–232.

ربط الشبكات المختلفة

لا يمكـن تطبيق نفس النهج إن كنت تحـاول الوصول إلى عدة أنواع مختلفة من الشبـكات لتتلاقى وتتعاون بذكاء. يجـب القيام بهذا الأمر محليـا، حيث تلتقي الشعيرات الدموية للشبكات، إذا جاز التعبير. مثال علـى ذلك هو التقارب بـين الشبكات اللاسلكيـة والألياف الضوئية، والتـي يجري ربطهـا أكثر فأكثر. والمطلـوب اتخاذ قـرارات التوجيه حيثما يحدث ذلك. نظم الألياف البصرية تملك قدرة أكبر بكثير، لكنها تفتقـر إلى خيـارات عندما يتعلـق الأمر بدعم الحركـة. بدلا من ذلك، ينبغـي على الأخير أن يُخـدم في المقام الأول عن طريق ترددات الراديو الشحيحـة، عـن طريق تحويل الإشـارات إلى الأليـاف في أقرب وقت ممكن. مزيج ذكي مـن الألياف البصرية الإذاعة ويكون الحل الأمثل في معظم الحالات.

تحتاج بذلك رؤية هايكن إلى التوسّع: يمكن الاستفادة من نظام اتصالات مصمـم بـذكاء أكثر من أفضـل التقنيات. لا يمكن اتخـاذ قرارات في هذا المجال مـن الأعلى إلى الأسفـل. والخصائص المحددة لأنـواع مختلفة من موجات الراديو والاتصال البصري هي التي سينظر فيها في نقطة الوصول ذات الصلة. سيتوجب على جهاز التوجيه أن يعرف أن بعض الترددات لن تستمـر إلى ما بعد غرفة، في حـين أن الآخرين يمكنهم أن يخترقوا إلى حد كبـير في أي مكان. سيتعين عليها أن تأخذ في الاعتبار القدرات، والمسافة والتصنيف.

يمكـن الاحتفاظ باتصالات الراديو وفقا لأعلى قدرة ترددات قصيرة

قـدر الإمكان مـن خلال السعـي إلى أقرب نقطة الوصـول إلى شبكة الأليـاف البصريـة. ولكن قـد تكـون كل غرفة مجهزة بنقطـة وصول الألياف الضوئية. يملك الراديو الأصغر قدرات على استخدام ترددات منخفضة نسبيا، ويمكن انتقـال العدوى لاسلكيا عبر مسافات أطول. إذا كنت ترغـب في الاتصال عبر مسافات طويلة جدا، وعلى النقيض مـن ذلك، فإن نظام تحديد العمود الفقـري من الألياف البصرية يؤدي إلى وجهتك.

كما إشارة النهج المتلقي، فإنه قد يعود مرة أخرى إلى وجود صلة تواصل عبر المحمول أو كابل الألياف الضوئية إلى الكمبيوتر المحلي. وباستخدام الألياف البصرية إلى حد كبير، يمكن الحد بشكل كبير من الحمل على طيف الـترددات الراديويـة. اتصالات من هـذا القبيل موجـودة بالفعل، لكنها تميـل إلى أن تكـون مرنة، لأنه غالبا ما يتم إنشاؤهـا لغرض واحد. وتضم المخابرات تمكين الشبكة للرد فـورا على التغييرات، وبالتالي توفير عرض النطاق الترددي الكريمة وجعل النظام أكثر قوة.

الشـيء نفسـه يصح فيـه الشبكات الأخـرى معا. ويمكـن دمج حركة السيارات ووسائل النقل العامة تنجح فقط، على سبيل المثال، إذا كان يمكن للسائقين تنظيم رحلاتهم على أساس مرات العبور الفعلي، وربما حتى من القـدرة على التأثير على جداول زمنية. شبكة الإنسان الذي يجمع التعليم إلى المناطـق الريفيـة المتخلفة، وفي الوقت نفسه، لا يمكـن أن تنجح إلا إذا كان يتفاعـل مع العمل، وربما حتى شبكات إمـدادات المياه. وأخيرا، فإن الشبكة اللوجستية ملزمة للتفاعل مع شبكات الإنتاج المحلي.

5 - التشفير

غـيّرت المدفوعات الإلكترونية، والتسـوق عبر الإنترنت، والاتصالات المتنقلـة بشكل أساسي مجتمعنا، وليسـ فقط لأنّ الخدمات الرقمية جعلت حياتنـا أكثر راحـة. لم يسبق في تاريخنـا وسلوكنا أن تمّ تعقـبّ مثل هذه التفاصيل كما هو اليـوم. البنك يتذكر بالضبط أين ومتى نسحب السيولة مـن الجهاز، وشركة الهاتف تحافظ على قائمة المكالمات التي لدينا، ومتجر لبيـع الكتـب على الانترنت يعـرف بالضبط مـا نحب قراءتـه. تستخدم المخـازن بطاقات الولاء وخصم نقاط لتسجيـل سلوك عملائها الشرائي. وقد ثبت أن قواعد البيانات هذه مفيدة للغاية.

يمكـن للشركات تقديم عروض مغرية لنا في اللحظة المناسبة. جميع هذه البيانات مفيدة للسلطات، أيضا. يقولون لهم إنه إذا كان هناك من هو على اتصال منتظم مع المشتبه فيه أو المكان الذي يوجد شخص في وقت معين. تساعد هذه المعلومات الشرطـة وأجهزة الاستخبارات منع التفجيرات أو تعقـب المتحرشـين بالأطفـال. والكثير من هذه المعلومـات محمي بحيث لا أحـد يستطيع الدخـول إلى سجلاتنا الرقميـة الشخصية. ولكن حماية الخصوصية أمر الصعـب على نحو متزايد بسبب عدد من قواعد البيانات وقنوات الاتصال التي لا تزال تنمو بسرعة.

وقـد تمت حمايـة الرسائل منذ بدايـة التواصل المكتـوب لبضعة آلاف السنين من الآن، وقد ترجمت البرقيات العسكرية إلى أبجدية غير مفهومة في حال ينبغي أن تقع في أيدي العدو. وبقي كسر رموز و يمثل تحديا.

وكان من الممكن أن يكون مجرى الحرب العالمية الثانية مختلفا تماما إذا كانت القواعد العسكرية أكثر قوة. يمكن لعملية فك التشفير والترميز بطبيعة الحال أن تنفّذ أسرع بكثير وبطريقة أكثر فعالية في عصر الكمبيوتر من أي وقت مضى مما كان ممكنا مع القلم والورق. وقد أتقن علم التشفير تقنياته على مدى العقود الماضية. وما زال المشفرين يبحثون باستمرار عن العمليات الحسابية التي تسمح للمطلعين بفك رسالة بسهولة، وتجعل الأمر صعباً على الغرباء، فلا يبذلون كل هذا الجهد في محاولة ذلك.

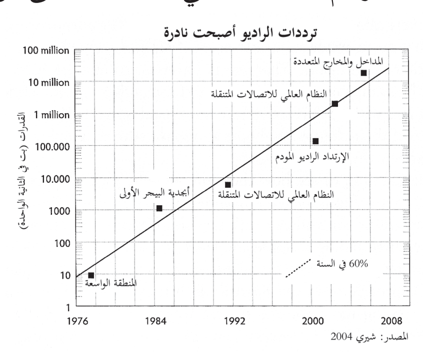
كيف يعمل التشفير؟

تقوم العديد من التقنيات الأمنية الهامة باستخدام الأرقام، الأرقام التي يمكن قسمها على الرقم واحد والرقم ذاته. الأمثلة هي 2 و 3 و 5 و 13 و 7901 ولكن أيضا 16769023. ويمكن التعبير عن الأرقام بوصفها نتاجا ليعبي: 15، على سبيل المثال، لا يمكن حلها في 3 إلى 5 مرات. من دون معرفة مسبقة، فمن غير المجدي التعامل مع أعداد كبيرة جدا، فقط على أجهزة الكمبيوتر الأكثر نفوذا في العالم يمكن أن نفكك الأرقام 100—200 أرقام طويلة بصعوبة كبيرة. في عام 2010، كان الرقم القياسي العالمي في عدد العولمة أرقام 232، الذي اتخذ من 2000 سنة من الزمن الحوسبة، وإن كان عمله فعليا في غضون بضعة أشهر من خلال سلسلة من أجهزة الكمبيوتر تعمل بشكل متواز[1]. الحسابات الرياضية مثل هذه تكمن في

(1) Records are listed by Paul Zimmermann; see http://vermeer.net/cak

قلب برامج الكمبيوتر الذي يقوم بتشفير المعلومات. الغرباء الذين ليس لديهم المفتاح لا يمكن إلا أن رسائل فك بصعوبة بالغة أو لا على الإطلاق.

وعلى النقيض من ذلك، يمكن للمستخدم المصرح له الذي يعرف الأعداد الأولية المستخدمة إكمال المهمة في ثوان. أدرج البرامج التي تقدم هذا النوع من الأمن في المتصفحات مثل إنترنت إكسبلورر وفايرفوكس، والتي نستخدمها لعرض مواقع ويب. تقنيات التشفير المتصلة تسمح لنا بالسيطرة على البيانات الخاصة بنا. كما يسمح التشفير أن تكون البيانات مجهولة المصدر. المعلومات في الملف الطبي، على سبيل المثال، يمكن فصلها عن التفاصيل الشخصية للمريض. وعندئذ يمكن ضمان الخصوصية إذا تم تمرير الملف من دائرة واحدة إلى أخرى، أو إذا ما سقطت في الأيدي الخطأ. التكنولوجيا موجودة هناك لحماية البيانات لدينا، ويتم استخدامها في عدد لا يحصى من الطرق.



المصدر: شيري 2004

لماذا الفقر في التشفير؟

لقد أصبحت مجتمعاتنا معتمدة بشكل متنام على أمن التشفير. لا يحمي الأمر إيصالات مدفوعاتنا فحسب، إنما أيضاً جوازات السفر والموسيقى التي نشتريها من المحلات التجارية. إلى أي مدى هذه الحماية آمنة؟ ماذا

يمكن أن يجـري إن حصل خطأ بسيط في الحســاب؟ لقد أثبتت شبكات التشفـير أمنها المنيع، وقد حاول الكثير اختراقهـا على سبيل التسلية. وقد تضررت حتـى الأقراص المدمجة من هذه المحــاولات في بداية الأمر. فقد كان يمكــن نسخ الــدي في دي على الرغم من حمايتــه. وقد ألقت شركة الاتصــالات الفرنسية القبض على العديد مــن المحتالين الذين عملوا على هذا الأمر. ولكن بعض المحتالين أذكى من غيرهم، وتمكّنوا من الهرب من العقــاب. كيف يمكن للتشفير أن يحمي من القرصنة والنسخ وما إلى ذلك مــن ممارسات؟ قــام هانك فان تيلبورغ، بروفســور في التشفير في جامعة ايندهوفن للتكنولوجيا بدراسة الأخطاء الأمنية في العمق. غالباً ما نتناقش معــه في الأمر، وتبــدو لهجته أكــثر تشاؤماً مرّةً عن مــرّة. (لقد تراجعت حمايــة المعلومــات في السنــوات الأخيرة، برغــم الخيــارات القوية التي وفّرتهــا التكنولوجيا)، يقــول فان تيلبورغ. ويضيف (نحــن لدينا بالفعل التكنولوجيا التي تضمن الأمن، وقد طوّرنا تقنيات تشفير متقدمة وأثبتت عــن جدارتها على مرور السنين. التقنيات موجودة، ولكن المشكلة أننا لا نستعملها، أو لا نستعملها بالشكل الصحيح).

هانك فان تيلبــورغ من الأشخاص القلائل الذيــن يهتمون بالمعلومات الشخصيــة للأفراد. البحث عن اسمه عــبر موقع الغوغل من شأنه أن يوفر معلومــات قليلة عنه، وبضع محاضراته. ويقلــق فان تيلبورغ من أن لا أحد يهتم إن كان بإمــكان أشخاص آخرين التسلل إلى الكومبيوتر الخاص بك والاطــلاع علــى معلوماتــك وملفاتك، برغــم أنه من الممكــن فعل ذلك بسهولــة إن تعــمّ أحدهم ذلك. ويعتــبر فان تيلبورع أنّــه طالما الأشخاص

العاديون لا يهتمون بالأمن والتشفير، فلن يركز المصممون على هذا الأمر أيضا.

(حماية التشفير هي غالباً الجزء الأخير من التصميم. يجب أن يكون بخس الثمن ولهذا قد لا تتمكن رقاقة واحدة من تأمين الحماية اللازمة. ويفضل المصممون استعمال الأموال في أمور أخرى مختلفة عن الحماية، كتكبير سعة ذاكرة حفظ الحاسوب. فيضحون بالحماية من أجل الفعالية. إنها مسألة خيار. وتتطلب الحماية الجيدة كمية أكبر من الطاقة). العارض نفسه موجود في الحياة اليومية، ويمكن أن تكون الأقفال المنزلية مثالاً على ذلك.

(الحماية ليست مادة مغرية للبيع)، يقول هانك فان تيلبورغ ويضيف (إنها مادة غير مرئية، خاصة عند إتمامها عملها. لذلك، لن تكون مادة جاذبة للإعلانات. أمر آخر، الاعتراف بالحاجة لحماية هو بشكل أو آخر اعتراف بوجود المخاطر). وقد تشكل الحماية عائقاً كذلك، إذ يوجد العديد من كلمات السر للحفظ، خاصة في بداية استخدامك للجهاز. الأمر يتطلب الكثير من الوقت أيضا. وحتى عندما يتم أخذ الحماية في عبن الاعتبار، يتم الأمر في نهاية مراحل العمل، فيحصل بسرعة من دون أن يستوفي الشروط اللازمة.

(لقد تم تأمين الحماية للأقراص المدمجة بشكل سريع، إذ كانت صناعة الأفلام مزدهرة في الآونة الأخيرة) يجيب فان تيلبورغ. (ولكن الحماية الفعلية يجب أن تؤخذ في عين الاعتبار في جميع مراحل التصنيع، وليس فقط في المرحلة النهائية. يجب أن تكون مستعداً لاستثمار الوقت

المطلوب.)، يضيف تيلبورغ.

غالبـاً ما تخرج الشركات بأنظمة حماية فقـيرة لأنه غالبا ما يتولى الأمر أشخاص آخرون، فلا يتحملـون بذلك المسؤوليـة الحقيقية في التقصير. (عمليـاً، المكان الوحيد الذي قـد ترى فيه شبكات حمايـة قوية هو عند الشـركات التـي تعتمد مباشـرة علـى الحمايـة في إنتاجهـا، كالمصارف أو شبـكات التلفـاز المدفوعـة سلفا)، يشـير فان تيلبـورغ، ويضيف (في الأماكـن الأخرى، يجد المصممون المهتمـون بالحماية أنفسهم في صراع مع شركاتهم التي ليسـت مستعدة لتوفير الضمانات والإمكانيات المناسبة للحماية)[1].

التعقيدات المتنامية

بحسـب تيلبورغ، مع مـرور الوقت، سـوف تزداد ضغـوط الحماية. شيئـاً فشيئـاً، تحتاج الأجهزة الصغـيرة إلى الحماية، كذلـك الأمر بالنسبة إلى الاتصـالات اللاسلكيـة. وستتصـل المنظمـات الإلكترونيـة وأجهزة المحمول أكثر فأكثر مـع الكومبيوتر، الذي سيتصل بدوره بآلات الطباعة اللاسلكيـة. وستتواصل الـبرادات والتلفزيونات مع بعضهـا البعض عير أجهـزة الكومبيوتر عما قريب. وسيتم اتصال العديد من أنظمة المعلومات

(1) These mechanisms are described in Anderson، R.، and Moore، T. (2006). The economics of information security. Science، 314(5799)، 610-613; Anderson، R. (2001). Why information security is hard: An economic perspective. ACSAC، Proceedings of the 17th annual computer security applications conference، p. 358.

كذلك. على سبيل المثـال، ستصل الخطوط الجوية حجوزاتها مع شركات تأجير السيارات والفنادق.

قبل فترة طويلة، فإن شركة الكهرباء وناقل الرسالة ستعرف تلقائياً من هو في إجـازة. كل هذا يجب أن يتـم في تواصل آمن لأن الدخلاء سيدخلون دائمـا من خلال أضعف نقطة. هذا إن كنت لا تريد لجيرانك الوصول إلى الكمبيوتـر الخاص بك عن طريـق الطابعة اللاسلكيـة أو لإيقاف المجمد الخاصـ بك عندما تكون في عطلة. إنها أبعد ما تكون من السهل لضمان أمـن هذا النوع من التوصيلات، فالاتصال يزيد التعقيد والضعف ولذلك يجب فحص كل عنصر في النظام. التعقيد هو أسوأ عدو للحماية.

وفقا لفان تيلبورغ، أصبحـت الحماية صعبة بشكل متزايد على أجهزة الكمبيوتـر التي نمت أكثر قوة. (هـذا يجعل من السهل على المتسللين من الدخـول)، يقول فان تيلبـورغ. الأمر المضاد هو استخـدام أعداد أكبر، لكن هنـاك حدود لذلك أيضا. اختيار هذا العـدد لا يجعل الأمن أفضل. (عندما تعمل أجهزة الكمبيوتر بشكل أسرع، عليك استخدام أعداد كبيرة بشكل غـير متناسب لاستبعاد خطر القرصنة. هنـاك حدودا لهذا النهج، ولا سيمـا للأجهزة الصغيرة. ولذلك عليك أن تنظر إلى غيرها من تقنيات التشفـير، مما يجعل الأمر برمته أكـثر تعقيدا. (تطبيقـات التشفير تتطلب أكثر تعقيدا، وليس هناك دليل على أن هذا سوف يتوقف في العقد المقبل. والنتيجة هـي مزيد من العمل في التشفير. على الرغم من ازدهار وانتشار الإنترنت في ملفات البيانـات الإلكترونية، بالكاد ارتفع عدد العاملين في صناعة التشفير على مـدى السنوات العشرة الماضية. نتيجة لتزايد تعقيد،

فإن الأمن يتدهور باطراد، والمتسللين والمحتالين سوف يواجهون مقاومة أقل وأقل.

من سيحمينا؟

الطريقة لمعالجة التعقيد المتزايد هي عبر التوحيد، هينك فان يفكر. (تأتي كل مؤسسة مع نظام الأمان الخاص بها في الوقت الراهن. ونحن مثقلون ببطاقات الائتمان وبطاقات السحب الآلي، وغيرها من البلاستيك. جباية الضرائب ترسل لمدوناتها الإذن الخاص، والمصارف القضية مع الأجهزة الخاصة بنا. إن الحد من هذا التنوع يجعل مهمة المشفرين، أقل ترويعا. ويجب أن يأخذوا في الاعتبار بشكل أفضل من أداء مهامهم).

ويضرب مثلا للرفيق الرقمي الذي يعمل عليه فريقه حالياً. الجهاز الذي يخطط إليه فان تيلبورغ يشبه الهاتف، فإنه يتصل مع البنك والمستشفى، ومصلحة الضرائب، وغيرها من المؤسسات التي تعمل مع البيانات الحساسة. (يتم الاحتفاظ بالمعلومات الموجودة في الجهاز، بحيث يمكنك الاحتفاظ بالسيطرة عليها. ثم، يمكن للمنظمات المختلفة استخدام نظام للاتصال. ومن الواضح أنه لن يكون بإمكان سلطات الضريبة النظر في التفاصيل الطبية الخاصة بك: كل جسم سيكون له المفتاح الخاص وتفويض محدد. ويمكن لكل واحد أن يقرر أيضا القواعد خاصة به، بما في ذلك الحق في تعديل البيانات في المرافق. ولكن سيكون عليك فقط تصميم وتأمين النظام مرة واحدة).

وسوف يكون التحدي لإقناع جميع منظمات المختلفة باستخدام

النظـام. (التكنولوجيا موجـودة ولكن الأمر سيستغـرق الكثير لحصول الجميع عليها. إنها مغرية لكل طرف فقط عليه المضي قدما وجعلها نظامه الخاص).

ومـن الواضح أنه شأن مثل هذا النظام المركزي أن يجذب المتطفلين. إذا استطعـت اختراق ذلـك، سيكون الأمر كأنك تمكنـت من كسر كل شيء دفعـة واحدة. (لكن هل يمكن وضع كل مـا تبذلونه من جهود في حماية نظـام واحـد؟) يسأل فان تيلبـورغ. (وفي نهاية المطاف، هـذا أفضل من وجـود مجموعة كاملة من الأنظمة، ولكل منها نقاط الضعف الخاصة بها. عامـل آخر مهم هو أنه سيكون من الأسهـل بكثير وأكثر ملاءمة استخدام الكثير من النظم منفصلة. عليك فقط أن تأخذ شيئاً واحدا معك، من شأنه أن يجعـل الأمـور بسيطة جدا وهذا أمر مهـم. وإلا فلن يريد أحد حماية أفضل).

هـل نظرية فان تيلبورغ صحيحة 100 %؟ (هناك عدة أساليب للحماية كنا قادرين على الاعتماد عليها على عقود. كنت تقوم على المباني الرياضية الصلبة، ولكن لا يمكن أن نستبعد احتمال أنه سيتم اكتشاف طريقة جديدة للقضـاء عليها. كنا نحب لو أننا قادرون علـى إثبات أن أسلوبا خاصا هو آمن تمامـا، ولكن هذا صعب جدا رياضيا. هنـاك الكثير من التكنولوجيا الآمنـة في الخارج، وأنه لا يحدث في كثير من الأحيان أيضا لحسن الحظ، أن تقنيـات رياضية غير قابلة للكسر مـن المفترض أن تتحول إلى أن تكون غـير آمنة، لكنك لا تستطيع أن تضمن الأمـن إلى الأبد. يجب الاستمرار بالبحـوث للتأكـد مـن أننا لسنا على حـين غرة من خلال طـرق جديدة

للتحايل على الإجراءات الأمنية).

يمكــن للتطور أيضا أن يكون خطيرا.. وإن كانت التعديلات لا تزال في مهدهــا، فإن المعالجــات تعمل بطريقة مختلفة تمامــا، وتستفيد من الظواهر علــى المستوى الذري. يمكــن لهذا الجيل الجديد من أجهــزة الكمبيوتر[1] إجــراء حسابات معينة أسرع بكثير مــن الآلات الكلاسيكية. (هذا سيعني نهاية تقنية للأمن استخدمت على نطاق واسع، الخوارزمية)، فان يعترف. ويضيــف (لكن لا يزال هناك طريق طويل لنقطعه. يمكن لأجهزة كمبيوتر العــد أن تكون حــوالي 15 فقط في هــذه المرحلة. لدينــا الوقت للتحضير لتنميتها. النــاس يعملون بالفعل على النظم الأمنيــة القادرة على الوقوف علــى أجهزة الكمبيوتــر الكم). والتركيــز الأكثر إلحاحا هــو على المدى القصير. (عندما يتعلق الأمر بالعملية الأمنية، يمكن إدخال تحسينات كبيرة بسرعة ويمكن تحقيقها باستخدام التقنيات المتاحة بالفعل. إنها مجرد مسألة الموقف والوعي).

لماذا تكلف العناء؟

يوماً بعد يوماً، تصبح مسألة الحماية أكثر تعقيداً، وعدد الخبراء لا يزداد، فيمــا المستهلكون لا يعيرون الأهمية الضروريــة للموضوع. التكنولوجيا موجــودة ولكننا لسنا بصــدد استعمالها. تعتبر فكــرة هانك فان تيلبورغ

(1) For a good introduction to the topic، see Mermin، N. D. (2007). Quantum computer science: An introduction. Cambridge، UK: Cambridge University Press.

مثيرة للاهتمام، فنحن نعرف مسبقا أهمية المعلومات المحفوظة في بيانات المصارف وحساباتها. ماذا لو أن هناك معلومات أكثر للتسريب؟ ليس عليك بذلك أن تحفظ الأسرار.

حتى المواطنين النموذجيين لا يعرفون الكثير عن الموضوع، برغم أنّ للقرصنة على بيانات الكمبيوتر آثار على أمننا. كلما كان من الأسهل الحصول على بياناتك الشخصية من قبل أناس آخرين، كلما كان من الأسهل تمرير نفسك قبالة شخص آخر. كان الأمر ضروريا لسرقة بطاقة هوية شخص ما، على افتراض أن مثل هذه الأمور الآن قد تحتاج ببساطة كلمة المرور لشخص ما أو تاريخ الولادة. حماية الممتلكات الخاصة تعني تأمين البيانات الشخصية الخاصة بك. هناك سبب وجيه لدينا لوضع الأقفال على الأبواب الأمامية، ونحن لدينا تأمين سياراتنا متوقفة. ومع ذلك، حتى لو لم يتم اختراق المعلومات، نحن نسيطر على أقل وأقل ما يعرف عنا. بحسب فان تيلبورغ، باستخدام هذا النوع من قواعد البيانات، فإن البيانات الخاصة بنا تختفي عن الأنظار. يتم الجمع بين مزيد من المعلومات، كلما زاد احتمال حدوث أخطاء.

يمكن لملاحظة غير صحيحة في السجلات لشركة بطاقات الائتمان أن تطارد الشخص لسنوات، مما يجعل من الصعب، الحصول على قرض. ويجري تقاسم القوائم السوداء في كثير من الأحيان مع المؤسسات الأخرى مما يجعل من الصعب تصحيح خطأ أو حتى للعمل على ما لديه من المعلومات. وحتى لو لم تقدم أي أخطاء، لا يزال لديك المشكلة إن لم تكن المعلومات كاملة. عليك فقط أن تبحث على اسمك عبر موقع

الغوغـل لمعرفة أي نوع من صـورة مشوهة عن العالم الخارجي. ولكن من الصعب أن تفعل أي شيء حيال ذلك أيضا.

ومـن شأن اتباع نهج عادل للإصـرار على الاحتفاظ بالسيطرة على كل البيانـات الخاصة بهم. ليس هناك شيء جديد حـول هذا الموضوع. كان هنـاك دائمـا الناس الذين أسيء فهمهـم أو تم حذفهم ما هو الجديد هو أن نشر المعلومات المضللة بات على نطاق أوسع. وسيتم الحفاظ على البيانات حتـى أبعد من الوفيات لدينا. وهذا يعنـي أننا ذاهبون إلى مواجهات أكثر وأكـثر، الأمـر الذي يؤثر في كثير مـن الأحيان على فرصنـا في المجتمع. المجنـدون يبحثـون بالفعل عـن جميع المعلومـات المتوفرة حـول طالبي العمـل. كلما بحثت في السجلات القديمة، باتت الفرص المتساوية للناس أقـل. والأفراد الذين يرتكبـون خطأ ما سيضطـرون أن يجيبوا عليه لبقية حياتهم. هناك رباط وثيق بين السرية والمساواة.

السجـلات القديمـة تجعـل الناس عرضـة للضعف إذا تغـيرت المواقف الاجتماعيـة. التاريخ يعلمنا أن الديمقراطية يمكن اختبارها بشدة من وقت لآخـر، وهذه بالضبـط لحظات التوتر التي نعتمد علـى عدم الكشف عن هويتـه من خلال صناديق الاقـتراع، ويجب أن نكون علـى يقين من أننا لا نتعرض للتلاعـب في التفاصيل الأساسية لهويتنا. في أوروبا المحتلة في الحرب العالمية الثانية، كان يعتبر عملا من أعمال المقاومة تدمير السجلات، كما أن المعلومات جعلت مـن الأسهل بكثير تحديد وقتل المواطنين يهود. لذلك تـزداد مطالـب الديمقراطيـة والخصوصية، خصوصـا في لحظات التوتر. نحن لا نعرف كيف سيستجيب المجتمع إلى النمو المطرد في تدفق

البيانـات. لم يسبق أن كانـت المعلومات متوفرة إلى هـذا الحد عن الناس. والأكـثر شيوعا لتلـك المعلومات أن تكون متاحة لأحـد أن يقرأ دون أي شكل من أشكال الحمايـة. الكثير من الناس ينشر بمرح كل التفاصيل على الإنترنت عـبر مواقع الفيسبوك أو التويتر، ويكشفون بشغف تفاصيل عن أماكن تواجدهم، وبم يفكرون.

إذا نظرنـا إلى الـوراء عبر التاريـخ البشري، نجد زيـادة مطردة في نطاق واسـع. وشاركـت الصحافة في المجتمعـات الزراعية ضمـن مجموعات صغيرة. ورافق التحضر المتزايد زيـادة في الحجم والعدد عبر الاتصالات. في قريتنـا العالميـة الحالية، نحـن نتشاطـر كل شيء مع الجميـع. لا يمكن للمقياس أن يكون أكبر.

ما هي الآثار المترتبة على هذا الانفتاح على كل شيء عن حياتنا اليومية؟ ماذا سيحدث إذا كان على الجميع اتخاذ هذه المعلومات على محمل الجد؟ هل ستـزداد هذه الديناميكيـة الاجتماعية والموجات مـن المعلومات عن أشخاص آخرين؟ أو أنها سوف تصبح أكثر صرامة، كما نرى أنه سيكون أسهـل بكثير تحديد تفكـير الناس؟ ما هو مستقبـل الديموقراطية إذا كانت الحكومـة تعرف كل شيء عنا؟ هل يمكن أن يحب الشخص عن الشخص الذي يعـرف كل شيء قبل أن يجتمع به حتـى؟ وكيف سيكون تأثير هذا الانفتاح على هويتنا؟ سوف نختبئ بعيدا عن شخصياتنا وتكشف فقط ما نريد؟ أو سوف نتعلم أن نغفر أخطاء الناس وفهم أن ذلك الماضي للشخص لا يقول لنا شيئا عن مستقبله أو مستقبلها؟

سـوف نتعلم إجابـات لهذه الأسئلـة في العقد المقبل ويعكـف العلماء

علـى البحث حاليا عبر الشبكات الاجتماعية على الإنترنت لتحديد أنماط التطورات[1]. يمكن لمثل هذه الدراسة أن توفر لهم فهم أوضح لكيفية تغير سلوكنـا تحت تأثير الكتلة. مفهومنـا للخصوصية متغير دائما ومن المرجح أن يتغـير مرة أخرى. يمكن فهـم الآثار الجانبية التـي تساعدنا على تحديد المعلومـات التـي يتعين الحفاظ على حمايـة حياتنا والعمل علـى استقرار المجتمـع. وسوف تساعـد على جعلنـا نستخدم الأكثر فعاليـة ممكنة من الموارد الشحيحة للتشفير التي يجري تطويرها من قبل هانك فان تيلبورغ وزملائه.

6 - التعامل مع الفشل

أجهزة الكمبيوتر هي المحركات التـي تدفع مجتمعنا نحو التطور. نحن نتقاضـى رواتبنـا عن طريـق الكمبيوتـر، ونستخدمهـا في التصويت في الانتخابات؛ كما تقرر أجهزة الكومبيوتر ما إذا كان بإمكاننا نشر الوسائد الهوائيـة في سيارتنا، ويستخدمهم الأطباء للمساعدة في تحديد الإصابات المريض. أجهزة الكمبيوتر هي جزء لا يتجزأ في جميع أنواع العمليات في الوقت الحاضر، والتي يمكـن أن تجعلنا عرضة للخطر. بسبب وجود خلل في جهاز كمبيوتر واحد، ويمكن لنظم الدفع الكبيرة أن تتوقف.

(1) Singla، P.، and Richardson، M. (2008). Yes، there is a correlation: From social networks to personal behaviour on the Web. in Proceedings of the seventeenth International Conference on the World Wide Web (WWW '08)، pp. 655–664.

عندمـا تتعطل أجهـزة الكمبيوتر، ونحـن لدينا إمـدادات خطر فقدان السلطـة، وخطوط السكك الحديدية، واتصالاتنـا. الأسوأ من ذلك كله، نحمّل عـادة مسؤولية التحـول إلى أجهزة الكمبيوتر واتبـاع نصائحهم العميـاء. هذا هـو السبـب في تلقي المرضـى لجرعات عاليـة تبعث على السخريـة في بعض الأحيان من المخدرات القويـة أو سائق السيارة الذي يتبع له بشكل أعمـى، وقد ينتهي بهم المطاف في حفرة. ويمكن استخدام جهاز الكمبيوتر في كل مكان.

وأسـوأ ما في الأمر أننا متآلفون مع الكومبيوترات المجهزة ببرمجة فقيرة. وليـس مـن المفاجـئ أن الفشـل في جهـاز الحاسوب قد يكلـف ملايين الـدولارات في السنة الواحدة. في الولايات المتحـدة فقط، تضيّع برامج الكومبيوتر الفاشلة ما يعادل الـ55 بليون دولار سنوياً[1]. هذا وتقوم وسائل الإعـلام بتغطية جزء صغير من الحدث. على سبيل المثال، في الثمانينيات، قتل العديد من مرضى السرطان عن طريق خطأ البرمجة تسبب في جرعات زائدة من الإشعاع ثيراك 25 في وحدة العلاج الإشعاعي.

عـام 1996، أطلقت أوروبا أول صاروخ أريان 5 والذي أدى إلى نسف بعـد مجـرد 37 ثانية من إطلاقـه، في ما قد تكون الخسـارة الأكبر في فشل برنامـج عبر التاريخ. عام 2007، اختبرت الطائرة 6 ف 22 عدة إخفاقات في الكومبيوتـر، وعطلـت بذلك نظم الملاحة والاتصـالات. يمكن تمديد

(1) Joint study by ESI International and Independent Project Analysis، press release (July 31، 2008).

القائمــة إلى ما لا نهاية، وهناك العديد مــن الإخفاقات التي لم نكن نسمع عنها. يمكن وصف حوالي ثلث مشاريع الكمبيوتر بالناجحة، وحتى هذه لا تــكاد خالية من الأخطاء[1]. لماذا لا نستطيــع منع وقوع أخطاء البرمجة؟ هل يمكننا تحسين أجهزة الكمبيوتر والبرمجيات من أجل حماية المجتمع من (أمزجة) بآلياته الرقمية؟

التصميم المنهجي

في كثير من الحــالات، يقع اللوم على الضغوط لخفض التكاليف والوفاء بمواعيــد تسليم. هناك كذلك متسع كبير لتحسين الأمور الأساسية. سنكون أفضــل حالا بكثير، على سبيل المثال، إذا اعتمد صانعو البرمجيات هذا النوع من التصميــم القوي للمنهجيات التي نجدها في مجالات تكنولوجية أخرى. عندما يضع المعماريون خططا للمنزل، على سبيل المثال، فإنها تبدأ من خلال حساب مدى قوة الأسس التي يجب أن تتم عليها، لأنه ليس من السهل تغيير هذه الأمور إلى مزيد من الانخفاض على خط المرمى. وبالتالي، تتم عمليات حسابية مستفيضة قبل البدء بأي نوع من أعمال البناء. ولكنك تحصل سوى فرصــة واحدة للقيــام بذلك الحق. عندما تأتي لحظة النهايــة لبدء بناء المنزل، إنهــا مجرد مسألة تنفيذ التعليمات ومــن ثم اختبار لمعرفة ما إذا كان قد ذهب كل شــيء وفقــا للخطة الموضوعة. وليســ على البنائين معرفــة ما لأنفسهم اللون الهاون الذي كان قد وضعه المهندس المعماري في الاعتبار. ليس على

(1) Ibid.

الأشخاص أن يقرروا مدى الحاجة إلى التعزيز. إنها مسؤولية المصممين.

تصاميم البرمجيات المنهجية لا تزال استثناء، وحتى ذلك الحين، إنها ليست سوى الخطوة الأولى. البرنامج هو أكثر تعقيدا بكثير من المنزل، وبالتالي لا مفر من الأخطاء، وحتى مع أساليب التصميم الأكثر جهدا. تحديد الأخطاء داخل الصرح المعقدة التي تمثلها برامج الكمبيوتر أمر بالغ الصعوبة. تذهب التطبيقات المستخدمة من قبل البنك، يمكن القول، بسرعة إلى عشرات الملايين من الأسطر من التعليمات البرمجية، ناهيك عن حقيقة أن لا يتم تنفيذ هذه الخطوط بطريقة خطية. برامج الكمبيوتر هي الخليط عبر اتصالات تنتقل إلى أجزاء أخرى من البرنامج. وتضم مصفوفة من التعليمات مع وصلات لا تعد ولا تحصى. هيكل قطعة من البرمجيات هي مئات المرات أكثر تعقيدا من هيكل ناطحة سحاب. فإنه من المستحسن، بالتالي، اختبار البرنامج مرة واحدة بعد أن تمّ بناؤه.

وقد وضعت إجراءات الفحص المنهجي الذي يكرر إدخال المستخدم ويتحقق من سير العمل في البرنامج في إطار مجموعة من الشروط. وبالمثل، تخضع الجسور التي شيدت حديثا إلى اختبار الإجهاد في بعض البلدان عن طريق تحميلها مع خط للشاحنات بحيث يمكن للمهندسين التحقق من أن الضغط على تعليق الجسر يتفق مع الحسابات الأصلي.

هذا لن يتكهن بكيف ستواجه البنية كارثة طبيعية استثنائية، ولكن الأمر يمكن أن يساعد في تحديد أي حسابات خاطئة. نادرا ما يتم إجراء اختبارات مماثلة على البرمجيات. منذ مطلع التسعينيات، طوّر علماء الكومبيوتر أدوات التحليل الرسمي التي تعمل عبر اتصال ضمن رمز. لا يمكن تطبيق هذا

النوع من التحليل إلا على جزء محدود جدا من جهاز كمبيوتر البرنامج عند اختبار بلاغ الكمبيوتر الجديد، ولكنه يدقق في الرمز من الأعلى إلى الأسفل ويستطيع اكتشاف الأخطاء. وهذا ما يجعل التقنية في تحسّن مستمر.

ويمكن استخدام أساليب مماثلة في المستقبل للأقسام الحرجة من التعليمات البرمجية في البرامج المصممة للسيطرة على المنشآت النووية، والمعدات العسكرية، أو النظم المالية. لا يمكن أبدا أن يتم تطبيق برنامج كمبيوتر ككل. العمل من خلال كل التقليب ممكن من إرشادات الكمبيوتر خطوة واحدة في وقت واحد هو ليس خيارا[1]. هناك عدد كبير جدا من مجموعات، أكثر منهم، في الواقع، هناك أكثر من الذرات في الكون. سيستغرق حرفيا أبدية للعمل في طريقك من خلال جميع الاتصالات. وهكذا، على الرغم من أننا يمكن أن نفعل شيئا لمنع أخطاء البرمجيات، لن تكون أجهزة الكمبيوتر مثالية. لإبعاد الأخطاء بشكل أكثر كفاءة، قد نحتاج نهجا مختلفا جذريا مستوحى من العلم التعقيد.

تقليص التعقيد

كلاوس ماينزر هو أستاذ الفلسفة في معهد علوم الحاسب الآلي التخصصات في جامعة أوغسبورغ، ومؤخراً، في جامعة ميونيخ للتكنولوجيا. التقيناه في مدينة أوغسبورغ الألمانية من القرون الوسطى

(1) Bowen، J. P.، and Hinchey، M. G. (2006).Ten commandments of formal methods . . . ten years later. Computer، 39(1)، 40–48.

لمناقشة نهج جديدة لبرمجة الكمبيوتر. وكانت أوغسبورغ مدينة حرة لقرون عديدة، وتقدم تقليديا ملاذا للاجئين من الإمارات مركزية أحادية اللون، والدينية التي تحيط به. الكنيسة القديمة والكنيس يهودي، على سبيل المثال، يتم بناؤها إلى جانب بعضهم البعض وتتبادل حتى جدارا مشتركا.

داخل مبنى الجامعة الحديثة، ماينزر سعيد للحديث عن التعقيد. لقد درس في الأصل التعقد في سياق النظم الرقمية ولكن اتسعت دراسته إلى الصعوبات التي تواجه المصممين ومجموعة واسعة من العمليات غير الخطية في العمل داخل مجتمعنا. وهو مؤلف الكتاب الأكثر مبيعا في التعقيد[1]. الأنظمة الرقمية أصبحت أكثر وأكثر تعقيدا، كما يقول.

(خذ التحكم في السيارة على سبيل المثال: مقدار الإلكترونيات أمر لا يصدق، وهو ينمو في كل وقت. كلما أصبح أكثر تعقيدا، كلما كان أكثر شيوعا هو الحال بالنسبة لهذه الأنظمة لتتوقف فجأة عن العمل لسبب غير معروف. الأنظمة الإلكترونية والبرمجيات التي تسيطر عليها جامدة وغير مرنة، ومترابطة بقوة. يمكن أن يتسبب أدنى شذوذ بفشل السيارة كلها. بين كل حين وآخر، يمكنك أن تسحب الأضواء، فيتوقف كل شيء عن العمل عندك. عليك إعادة تشغيل السيارة لكي تعمل بشكل صحيح مرة أخرى).

مثل هذه المشاكل ليست غير عادية في النظم المعقدة. وقد أدت أخطاء

(1) Mainzer، K. (2007). Thinking in complexity: The complex dynamics of matter، 5th ed. Berlin، Heidelberg، New York: Springer Verlag.

المحلية أيضا إلى الفشـل على نطاق واسع في شبكات الاتصالات وإمدادات الطاقـة. (إعـادة تشغيل) السيارة قد تساعد، ولكـن الحل الحقيقي يكمن في تطبيق اللامركزية في الضوابط، يقول ماينزر. ويصف السيارة النموذج الذي بناه مع المصممين في مرسيدس التي تم كسرها في السيارة إلى أجزاء مستقلة.

(كل جـزء من السيارة يمكنه تكوين نفسـه والتعاون مع الآخرين. إذا فشل جزء من وحدة التحكم في الأضواء، تأخذ أجزاء أخرى التحكم بزمام الأمور، فيما يعرف، كوظيفة حيوية. هـذا هو بالضبط كيف يعمل الدماغ. إذا كنت تعاني مـن السكتة الدماغيـة، وفشل وظائف معينة، قـد لا تكون قادرا على التحـدث بعد الآن، لكنـك تعوض عن طريق الكتابـة واستخدام الإيماءات. وأنه غالبا ما يكون من الممكن إعادة تنشيط مراكز الكلام، ولو بعد قدر كبير من التدريب. شيئا فشيئا، ينتظم النظام الذاتي في شكل جديد ومستقر).

تملـك أجزاء السيارة ميزة أن تكون محدودة في نطاقها وأسهل للاختبار. (والمفهوم ذاته هو أيضـا مفيد عند تكييف البرمجيات)، كما يقول ماينزر. (يمكنـك بسهولة توسيـع وظائف السيارة من خـلال إضافة جديدة. إنها مقاربة مختلفة تماما لتصميم البرمجيات. لا تحتاج لبناء برنامج كمبيوتر واحد ضخم لا يمكـن تعديله بسهولة. يمكن للنظام أن ينمو بطريقة تطورية بدلا من ذلك، ويمكنك أن تعيد تجميع صفوفه باستمرار كلما أضيفت وظائف جديـدة. هندسة البرمجيات التطورية من هـذا النوع أيضا تجعل من السهل تغيير وظائف خلال عمر السيارة).

ويمكـن لنهج مماثـل أن يجعـل الدوائـر الإلكترونية الدقيقـة للمعالجات الكمبيوتـر أكثر موثوقية. نحن نقوم بتعبئـة عناصر أكثر وأكثر على شريحة،

مما يجعل الأمر أكثر صعوبة لتنفيذها من دون أي أخطاء. إذا كان هناك خطأ واحد من بين الملايين كل تلك المكونات، فإن شرائح بأكملها تصاب بالخلل. تم تعريف حياة شريحة صانعي على نحو متزايد على المكونات التي يصيبها كسر قبل الأوان أو لا تعمل بشكل صحيح أو ثابت على مر الزمن. مصممو الرقائق ينفقون بالفعل ما يقرب من ثلث وقتهم في محاولة تجنب فشل المكون. وهذه المشاكل ستزداد كلما أصبحت التفاصيل أصغر، وأصبح من الأصعب تجنب الأخطاء. إذا كان هناك عيب في الشرائح، يجب أن تكون قادرة على إعادة برمجة نفسه حتى أن الخطأ يمكن تجاوزه. بنفس الطريقة، يمكن للشريحة الاستفادة من المكونات التي تحدث للعمل بشكل جيد من خلال منحهم دورا أكبر. في هذه الطريقة، لم يعد تحديد الأداء أضعف عنصر بل الأقوى. هذا بدوره يفتح الباب لمزيد من التحسينات. إذا كان لديك شبكة رقائق مرنة وذكية داخليا، يمكن صنعها على التكيف مع وظيفتها عندما تتغير الظروف. نهج مماثل يساعد أيضا في الاتصالات ونظم إمدادات الطاقة. وينبغي أن الشبكة مصممة تصميما جيدا أن تكون قادرة على تجاوز الخطأ وإعادة توجيه تدفق البيانات أو الطاقة الكهربائية.

الشبكات العصبية

لقد درس كلاوس ماينزر أيضا مقاربة أخرى للحوسبة: استخدام الشبكات العصبية. هذه تقلد بفجاجة عمل الخلايا العصبية في أدمغة البشر، على أساس العمل الرائد للعالم الأمريكي جون هوبفيلد في مطلع

الثمانينيات[1]. ربط المعالجات الصغيرة التي تصل التواصل مع جيرانهم في الطريقة نفسها تقريبا التي تقوم بها خلايا الدماغ. يمكن أن تكون مرتبطة جانب واحد من شبكة إلى جهاز الإدخال، مثل الكاميرا، وشبكة التواصل ثم قراراتها على الجانب الآخر. يتم تدريب شبكة عصبية باستخدام مئات الحالات من الماضي. في هذه الطريقة، فإن المكونات الفردية للشبكة تعرف الكيفية التي من المفترض أن تستجيب لإشارات من جيرانهم، وأخيرا يجب وجود علاقة تنشأ بين المدخلات والمخرجات. ليس عليك كتابة برنامج لجهاز كمبيوتر، بدلا من ذلك، يمكنك إعطاء الأمثلة على (السلوك الصحيح).

يمكن نشر الشبكات العصبية في جميع أنواع الحالات التي يكون من الصعب تحديد قواعدها، يقول ماينزر. (يمكن للشبكات العصبية اتخاذ قرارات على أساس معايير غامضة في مناطق مثل التحكم في درجة حرارة مبنى ما أو التعرف على الكلام. التعلم والتنظيم الذاتي هي السمات المميزة للشبكة العصبية. مثل الدماغ البشري، الشبكات العصبية هي مرنة ومتسامحة في الخطأ. هذا هو السبب في أنها أصبحت مؤثرة في مجال البحوث التعقيد). الشبكات العصبية لا تنفذ التعليمات الكمبيوتر واحدا تلو الآخر في الحواسيب (التقليدية)، بل تقوم المعالجات بعملها بشكل متواز.

أو بالأحرى، يمكن أن نبني عليها للقيام بذلك. لأسباب عملية، لا تزال

(1) Hopfield، J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceedings of the National Academy of Sciences، 79(8)، 2554–2558.

الشبكات العصبية إلى حد كبـير تنفّذ على أجهزة الكمبيوتر القياسية التي يتم فيها استخدام نظام محاكاة البرمجيات التي تسيطر عليها. ولكن الهدف بنـاء أجهزة خاصــة، لأن ذلك من شأنه أن يـؤدي إلى النظم التي هي حقا قوية وقابلة للتكيف.

لا تـزال الشبـكات العصبيــة اليوم بعيدة جـدا عن البدائيــة لتبدأ حتى بتحريــك ضمير الإنسان، يعترف كلاوس ماينزر. (إنها فقط تشبه أدمغتنا إلى حد ما). بضعة آلاف من المعالجات تنشط في شبكة الكمبيوتر بالمقارنة مـع 100 مليار في الخلايـا العصبية في الدماغ البشـري. (إنها لا تعمل في أي شــيء بنفس الطريقة التي تعيش في الجهاز العصبي. وإنها لا تحتاج إلى أي شــيء. لم يجر التقــدم الكبير المحرز في تاريــخ التكنولوجيا من خلال التشبــه الخانع بالطبيعة. ولم يتعلم البشر الطيران عن طريق نسخ الطيور؛ لا يمكنــك فقط وضع بدلة الريش والنـزول إلى السماء. (فقط عندما نتوصل إلى قوانـين الديناميكا الهوائية، سيكون من الممكــن بناء جهاز الطيران)، بحســب ماينــزر. (إذا كنا نريد بنــاء أجهزة ذكية حقا، نحــن ذاهبون إلى اكتشاف القوانين الأساسية التي يقوم عليها عمل الدماغ).

7 - اللوجستية القوية

يبدو أن حياتنا تدور حول الجــداول. إن لم نلتزم بها، فتفوتنا القطارات وتنهــال جــداول العمل لدينــا. نحن تعتمــد على بعضنــا البعض، ونحن دائمــا نقوم بتنسيق الجداول الزمنية لدينا مع الآخرين. التخطيط هو عنصر

أساسي للصناعة لدينا أيضا. إذا قمت بتشغيل الصواميل والمسامير بشكل غير متوقع، لا يمكنك تصنيع سيارات أكثر من ذلك، وعملية الإنتاج بأكملها تتعرض للتوقف. لا يستطع أي مصنع تكلّف ذلك، ولذا تستخدم الشركات الصناعية الكبيرة فرق من المتخصصين مهمتها ضمان عدم وجود أي نقص في قطع الغيار الرئيسية. وقد أصبحت الشبكة العالمية اللوجستية شريان الحياة لصناعتنا

القضية المركزية التي تواجه الخدمات اللوجستية هي الموثوقية. كيف يمكن الحفاظ على شبكة التوريد سليمة؟ وكيف يمكن الحد من العواقب إذا ما فشلت؟ هذه هي الأسئلة التي تذهب أبعد بكثير من المعروض من الصواميل والمسامير للسيارات الجديدة. تؤثر اللوجستية الموثوقة بالتساوي على الشبكة من التفاعلات التي تحدد إنتاج الأغذية والتحسين في شبكة الإنترنت. بل تمتد أيضا إلى إمدادات الطاقة، والاتصالات السلكية واللاسلكية، والقوى العاملة. الشبكات موثوقة تجعل مجتمعنا أفضل، ولكنها تواجه الشكوك من مختلف الأنواع. هذا من شأنه أن يضفي عليها نطاقا أوسع لأهمية الخبرات المكتسبة من اللوجستيات الصناعية، والتي توفر لنا الأدوات التي يمكننا استخدامها لتحسين الشبكات وحساب أوجه عدم التيقن في مجالات أخرى كذلك.

عمليات الجرد

ترتبط موثوقية الشبكة ارتباطا وثيقا بتوريد ما يصل مع مخزونات تحتاج إلى صيانة. يعقد رجال الأعمال الملايين من الدولارات من الإمدادات

في المستودعـات الخاصة بهم للتأكد تماما أنها لم تتوقف عن الإنتاج بسبب الفشـل في سلسلـة التوريد. لذا فإن السؤال الرئيسـي هو ما هو المخزون الكبير الذي يحتاج إليه عقد كل مكون؟

يولد التخطيط الذكي لإجراء خفض مستويات المخزون في المستودعات الخاصـة بـك وفورات فورية. مـن ناحية أخرى، تحتـاج إلى ما يكفي من الأسهـم لضمـان استمرارية أي شيء إن سارت الأمـور في الاتجاه الخطأ. التخزيـن الأمثل هـو مشكلة مشتركـة في شبكات التوريـد. هناك دائما مقايضة بين موثوقية الشبكة وضرورة أن تكون مربحة بالمعنى الاقتصادي. حيث التخزين محلي أو مكل للغاية، يجب أن تكون شبكة الكهرباء موثوقة للغاية. حيث الإنتاج المحلي موثوق به والتخزين رخيص، يمكنك أن تأخذ في الضغـط على الشبكة من خـلال دمج ذاكرة التخزيـن المؤقتة المحلية. الصواميـل والمسامير رخيصة، لذلك فمـن المرجح أن تتمكن الصناعة من الحفـاظ على مخزونات ضخمة منها، والحد من الاعتماد بشكل كبير على محطـة أي مورد معين. المكونات أكثر قيمة مثل المحركات، وعلى النقيض من ذلك، يجب أن يتم تسليمها (في الوقت المناسب)، الأمر الذي يتطلب إجراءات تدار بإحكام.

هذه ليست مجرد مسألة وصلات النقل بين الشركات. الشبكات المعقدة موجودة أيضا داخل الشركات الفردية لتصنيع وتخزين المنتجات الوسيطة التي توفر منطقة عازلة لحالات الطوارئ. تبعا لذلك، فإن إدارة الشبكات اللوجستيـة الفعالة تأخـذ بعين الاعتبار جوانب كثيرة مـن الأعمال ذات الصلـة. يجب أن تكون قوائم الموظفـين وضعت، وتحتاج الآلات يحتاج

إلى النشـر بأكبر قدر من الكفاءة، ويجب الوفـاء بأوامر العملاء في الوقت المناسـب. التخطيط هو البانوراما الهائلة التـي يتوقف فيها كل شيء على كل شـيء آخر. للقيام بذلك مـن دون خطأ، تحتـاج إلى الحواسب القوية وأنواع مختلفة من البرامج.

وغالبا ما يكون هناك أنظمة كبيرة ومكلفة مرتبطة بشريط رمز الماسحات الضوئية، والروبوتات المستودع، وآلات الإنتاج. إنها تتبع بدقة مستويات العرض، ومكان التسليم، ووضع الأوامـر، وتوافر جهاز داخل المصنع. معا، يوفر كل هذا السيطرة الكاملة على كل ما يدور. ربط البيانات بشكل سريـع يمكّن أجهزة الكمبيوتر للشركة على التواصل مع الموردين والعملاء والشـركات التابعة. وغالبا ما تتحد بيانات من جميع أنحاء العالم لمساعدة الشركات الكبيرة على اتخاذ الخيارات الأكثر فعالية للعمليات.

بيانات أكثر من أي وقت مضى

تستخدم سلاسل محلات السوبر ماركت هذا النوع من التخطيط المسبق لتخزيـن متاجرهـم. وتجمّع أجهزة الكمبيوتر الكبـيرة في الفروع المحلية جمـع بيانات، حيـث تتم معالجتها في المكتب الرئيسـي لحساب بالضبط كـم من الحزم من القهوة وزجاجات الكـولا وعناقيد من الموز ستلبي كل احتياجـات الفرع. جدولة التسليم لاحقة على أساس تلك البيانات، ومع ذلك، معقدة للغاية. هناك الكثير من المعلومات والحسابات بشكل مكثّف علـى جهـاز الكمبيوتر، حتى إن أقوى أجهـزة الكمبيوتر لا يمكن معالجة العمليـة تماما. التخطيط لرحلة مندوب مبيعـات واحد من الصعب.بما فيه

الكفاية، كما يتضح من (مشكلة البائع المتجول). يحدد هذا التحدي المتمثل في إيجاد أقصر طريق بين عدد من المدن. إذا كان هناك خمسة عشر مدينة، على سبيل المثال، لن يكون هناك المليارات من الطرق الممكنة.

وقد استنبط علماء الرياضيات إستراتيجيات لمعالجة المشكلة، ولكن من الصعب جدا إثبات أن مسارا معينا هو في الواقع أفضل. وفي الوقت نفسه، تواجه المخططين الصناعيين إصدارات أكثر تعقيدا بكثير من هذا اللغز الرياضي كل يوم. يتطلب كل الوضع إستراتيجية مختلفة للوصول إلى الحل الأمثل. ما يحدث في الواقع هو تبسيط المشكلة والافتراضات، والسماح للمخطط باستخدام حزمة البرامج القياسية التي تولد جدول زمني قابل للاستخدام بعد ساعات قليلة من المعالجة. النتائج لا تزال بعيدة عن الكمال في كثير من الأحيان، ولكنها جيدة لأجهزة الكمبيوتر التي يمكن إدارتها. هناك تحسن مطرد، بطبيعة الحال، وأجهزة الكمبيوتر أصبحت أكثر قوة مع كل جيل جديد من المعالجات.

لذلك، كيف سيبدو التخطيط التشغيلي للشركات بعد عشرين سنة من الآن؟ هل سيقوم الكمبيوتر الكلي بتخطيط كل التفاصيل الصغيرة؟ هل ستبقى رفوف المتاجر الكبيرة مخزّنة حتى الغرام الأخير؟ من أحد السيناريوهات المحتملة هو أن البرنامج سيتكرر باستمرار حتى يأخذ في الاعتبار على نحو أفضل وأكثر دقة كل البيانات المتاحة. وسوف تنفذ الشركات حساباتها بدقة متزايدة، مضيفة معلومات أكثر تفصيلا وحلول لمتغيرات أكثر تعقيدا من مشكلة البائع المتجول. وسوف تصبح البيانات تدريجيا أكثر تفصيلا وتزودنا بكميات متزايدة من المعلومات المسجلة

بشأن كل جانب مـن جوانب نشاط الشركة. وسوف يتم تنفيذ العمليات علـى نحو متزايد رقميا، وجعلها أسهل للمراقبة. سيتم تسجيل كل مكالمة هاتفيـة، عملية الكمبيوتر، والتنقل، وسـوف تستخدم بعد ذلك لتحسين التخطيـط بحيث يمكن نشرها للأفـراد والآلات والموردين بطريقة أذكى. وتتسـاوى المزيد من البيانات وزيادة القـدرة الحاسوبية في هذا السيناريو مـع تخطيط أكثر تعقيـدا. من الناحية المثالية، في كل مـرة تباع علبة البن، سـوف ترسل هذه مباشرة إلى مركز توزيع، والتي سوف تأخذ في الاعتبار الفوري عند إعداد أوامر.

مستقبل التخطيط

لقـد تحدثنا عن هذا الاحتمـال مع تون دي كوك، مديـر سلسلة توريد المنتـدى الأوروبي، وهي شبكة من الشركات العالمية التي تركز على إدارة سلسلـة التوريد. كأستاذ للتحليل الكمي لنظـم النقل والإمداد في جامعة ايندهوفـن، يهتم دي كوك بجمع واستخـدام كميات كبيرة من البيانات. (معرفة كل شيء عن العمل لا ينتج خطط فعالة)، كما يقول.

المزيد من البيانـات والبرمجيات لا تضمن بالضرورة قدرا أكبر من الدقة. الحسابـات الأكـبر تعطي مجرد وهم مـن الدقة. إنها مقاربـة خاطئة تماما. نظريـة التعقيد تشير إلى أنها ببساطة ليسـت عملية لإيجاد الجواب الأمثل لمعظم قضايا التخطيط. ويمكن أن تذهب في مضاعفة تجهيز الطاقة الخاصة، ولكنـك ستبقى بحاجة إلى التبسيـط، وإلا فإنه لن ينجح. هناك الكثير من قواعد الإبهام في التخطيـط لاستخدام أجهزة الكمبيوتر، وهذا لن يتغير،

خصوصا أن كميـة البيانات في الازدياد. الثمن الذي تدفعه هو أنك تجرد القضايا، إلى حد أن النتائج التي تحصل عليها لا تعود تتطابق مع الواقع.

مـا هو أكثر من ذلك، دي كوك يضيـف، أن البيانات التي تجمعها غالبا مـا تكون أقل دقة من التي تفكر بهـا الإدارة. (إنه من المغري الاعتقاد بأن المزيـد من التفاصيـل سوف تؤدي إلى المزيد مـن التخطيط الدقيق. رجال الأعمال والعلماء يميلون إلى الاعتقاد أن كل شيء يعمل بطريقة يمكن التنبؤ بهـا. أنا لا أوافـق. المستقبل هو بالضبـط ما لم تتوقعه، وهـذا ينطبق على الأنشطـة التجارية أيضا. لن نجد العمليـات التجارية كلعبة شطرنج بحيث يمكنك معرفة كل الحق في التحرك حتى النهاية).

هـذا يصبح واضحـا بمجرد بدء قياس الإنتاج مع ساعـة توقيت، وهو أمـر يقوم به دي كوك دائما مـع طلابه. (إذا كنت تقف في الواقع بجانب الشخص الذي يقوم بالعمل، وكنت أدرك أن الأمور لا تحدث فقط بطريقة يمكن التنبؤ بها؛ تحصل اختلافات كبيرة بدلا من ذلك. أبسط التفاصيل قد تشكل فارقا. بعض العاملين فيها هم أكثر نشاطا من غيرهم. بعض الأجهزة تعمـل علـى نحو أفضل. فقـط حاول التنبـؤ بكم من الوقـت سيستغرق شاحنـة للقيام برحلة 100 كيلومتر بـين المدينتين. إذا كان يمكنك الحصول علـى النتيجة الصحيحة في غضون 15 دقيقة، فهذا يعني أن كل شيء على ما يرام. ولكن غدا، يمكنهم حفر طريق في مكان ما، ولن تستطيع الالتزام بمواعيـد التسليم الخاصة بك. كمـا لا يمكن توقع الطلب. نحن ببساطة لا نعرف العملاء الذين سوف يشـترون منتجاتنا الأسبوع المقبل. المأزق هو أن نفترض أن التقديـر الخاص من هذا الطلب هو الصحيح تماما. سيكون

الأمر كأنك تسند كل ما تبذله من إجراءات على افتراض زائف).

المشكلة، وفقا لدي كوك، هي أن برنامج التخطيط لا يأخذ في الاعتبار هذا النوع من التباين وعدم اليقين. (الكمبيوتر يولّد ببساطة خططا أكثر تفصيلا من أي وقت مضى. في كثير من الحالات، يقوم البرنامج بإنشاء جدول فيه الكثير من الركود، جنبا إلى جنب مع أن أي احتمال المرونة قد أزيل. في هذا النوع من التخطيط، لا يتم ترك أي آلة عاطلة، وليس هناك أكثر من ترباس واحد في المستودع. وعلى مواكبة وتيرة المطالبة بالبقاء في الموعد المحدد. ومع ذلك، يمكن لعدم وجود الوسائل والمرونة أن يؤخر التعديلات حتى تكون له عواقب كبيرة. تلك هي المعضلة: كلما كان التخطيط أكثر دقة، كلما كان من الصعب التكيف).

نرى تأثيرا مماثلا في مناطق أخرى أيضا. لشبكة الكهرباء ترابط قوي بحيث يمكن لانقطاع واحدة بسيطة أن ينتشر عبر القارة بأكملها، ويسحب الخدمات باستمرار في طريقه. كما رأينا في الفصل الأول من هذا الكتاب، وفي الوقت نفسه، تجارة الأغذية الدولية على شبكة الإنترنت أمر معقد بحيث يخلق النقص المحلي على الفور مشكلة عالمية. ولكن لا يتأثر المزارعون التقليديون الذين يستخدمون فقط البذور والسماد الخاص. (عندما تقر بأن البيانات الخاصة بك مليئة الشكوك، يصبح التخطيط أبسط كثيرا)، بحسب دي كوك. (يمكن إبقاء الكثير من المعلومات محلية، ويمكن أن تخرج البيانات بشكل مريح في الفرع المختص. هذا هو مبدأ مختلف تماما عن الطريقة التي تطور التكنولوجيا حاليا. تحتاج الشركات لأن تستثمر الملايين في محاولة يائسة ليتعرفوا على كل ما يجري داخل وخارج

جدرانهـا. بـدلا من جمع البيانات التي لا تنتهي، ينبغـي علينا أن نقبل أن بعضـ الأشياء لا يمكــن التنبؤ بها وتبقى غير مؤكـدة. في بعض الحالات، نحــن نعرف توقيت النقل، ومراحــل التجهيز، وأن سلوك الشراء يمكن أن يختلـف، وأن بعضـ العوامل تتقلب بشدة أكثر مــن غيرها. نحن بحاجة إلى برامــج التخطيط الذي تأخذ في الحسبان قدرا أكبر من عدم اليقين. ما زال من الصعــب أن تأخذ في الاعتبار كامــل الاختلافات الإحصائية من هذا القبيل، ولكن هذا التحدي الواجب توافره هو حقل جديد للبحث).

ليس تــون دي كوك وحيجــا في رؤيته ونقده. في السنــوات الأخيرة، أودت بحــوث التعقيــد إلى نهج جديد تماما للتعامل مــع حالة عدم اليقين في عمليــات التخطيــط. على الرغم مــن أن الوقت مــا زال مبكرا، يمكن إيجاد التفكير المماثل حول اللامركزية أيضا في المناطق الأخرى التي تتميز بشبــكات معقدة وعوامــل محلية، مثل الاتصــالات السلكية واللاسلكية، وشبــكات الطاقــة، وأجهــزة الكمبيوتــر. تستخدم التقنيــات الحديثة في الاتصــالات اللامركزية (معلومات استخباراتية) وزعت للرد بسرعة على انسداد الشبكة.

ربمــا هناك الكثير ممــا يمكن أن نتعلمه مــن الطبيعة. هنــاك قدر كبير من التنظيم اللامركزي الذي يحدث في أجسادنا، أيضا، والذي يمكنه التعامل مــع الاحتياجات المحلية، بينما ما زال مستمرا في العمل كوحدة واحدة. ومما لا شك فيه أن مناهج أخرى تنشأ أثناء سير البحث. ولكن إذا كان دي كــوك يرى أنه يمكنــك فعل أي شيء حيال ذلك، فــإن المستقبل يكمن في التخطيط اللامركــزي. الجمع بين مفهوم التخطيط اللامركزي مع مفهوم

النمــاذج العشوائيــة ورؤى عامة تستخلص من هذه الغلــة فعالية أكثر في تخطيط الشبكة وآليات المراقبة التي هي مختلفة تماما عما نستخدم اليوم.

8 - الآلات المتطورة

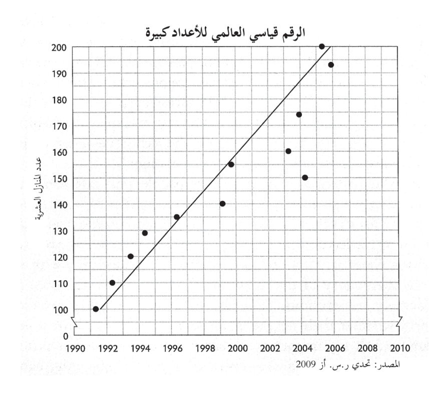
مــا يشبه قصديــر الكعكة على عجــلات يعمل طريقــه في جميع أنحاء الغرفــة. المكنســة الكهربائية علــى الروبوت صاخبة مثــل واحدة عادية، ولكن هنــاك فارق هام: ليس عليك رفع الإصبــع لتنظيف الطابق الخاص بك. تجمــع الأوساخ داخل جسم الروبــوت، وتكتسح اجتهاد من فرش وامتصاص في الدورية من السيارات. تستشعر ومضات الجهاز على مدى المــكان بعض فتــات الخبز فقط سقطــت، نقول إن هذا هــو المكان القذر خاصــة، الأمر الذي يتطلب اجتياحــات إضافية لحسن التدبير. على حافة الدرج، ويكشف قصدير الكعكة عن انخفاض مسار التغييرات في الوقت المناســب تمامــا. وإذا استعرض الغرفة ثلاث مــرات، يخلص الروبوت أنه أنهــى القيام بعملــه. كل شيء نظيف. لا مزيد من الجــدل حول من الذي يجــب أن يشفط الأرضية. اترك الجهاز للقيام بهذا العمل أثناء الجلوس في كرسي مريح، وربما مع روبوت آخر كحيوان أليف. يمكنك شراء مثل هذه الأجهزة بالفعل ببضع مئات من الدولارات.

في الواقــع، فإن الكثير من الثــورة الصناعية حوالي آلات تعمل لخدمتنا. لقــد غير الأمر بشكل كبير في الإنتاجية والعمــل. وفي الأسر، أيضا، لدينا عدد من الآلات التي تقوم العمل بالنسبة لنا. الأمثلة على ذلك لدينا آلات

الغسيل والمجففات. ولكن لطالما وجدت آلات، حلمنا أيضا بالروبوتات التـي يمكن أن تتخذ علـى مدى أكثر الأعمال بكل طاعـة وانتظام، كفتح البـاب، وقلي البطاطا، وإصلاح السيارة. فإنـه ليس من قبيل المصادفة أن الروبوت مشتقة من كلمة (العمل) في معظم اللغات السلافية.

تطلـق الروبوتات شـرارة التخيـلات للمصانع الكبـيرة الكاملة لعمال المعـادن الذين يكدحـون في خط الإنتاج، وتصميـم منتجات جديدة في لوحـات الرسم الخاصـة بهم. هذه هي بعض الألعـاب الخطيرة. إنها تمتد مـن قدراتنا البشرية بالطريقة نفسهـا كأدوات طورناها في سياق تاريخنا. نستخدم بعضهـا بالفعل في حياتنا اليومية، بما في ذلك تلك التي تساعدنا على اتخـاذ قـرارات مستقلة وحاسمة مـن دون السعـي إلى مساهمتنا. الفرامـل المانعـة للانغـلاق في سياراتنا، علـى سبيل المثال، هـي نوع من الروبـوت أيضا. وهي تعمل بشـكل أسرع وأكثر دقة من أي وقت مضى، ونحن يمكـن أن نهدد إذا كانت السيارة فجـأة معرّضة إلى انزلاق خارج عن السيطرة.

في الممارسـة العمليـة، على الرغم من أننا نميـل إلى تسمية (الروبوتات) فقط بتلك الآلات التي تهدف إلى تقليد بعض النوع من السلوك البشري. يمكـن أن نقدم الآن بعض الأدوات التي نحتاجها لمعالجة المشاكل الرئيسية لعصرنـا. لم نعـد نتحدث ببساطة عـن كنس أو لحام ولكن عـن المساعدة لرعايـة المسنين، وتحسـين دقة العمليـات الجراحية، وتبسيـط نظم النقل لدينا. وللروبوتات أيضا ميزة أكثر بروزا في حياتنا اليومية كبشر، فالآلات واجهات تحسن مطرد ردا على التقدم في التعرف على الصوت.



المجسمات

يصبح المهندسون شيئاً فشيئاً أفضل وأفضل في محاكاة خصائص الإنسان في الروبوتات. هناك منافسة لا تنقطع لتصميم الروبوتات قادرة على تكرار القدرات البشرية عن كثب. أخذت شركة هوندا زمام المبادرة في بداية هذا القرن مع أسيمو، الذي يشبه قزم في بدلة الفضاء. أسيمو هي لعبة الإنسان الذي يمشي منتصبا. يتم التحكم في الأسلحة والساقين ميكانيكيا تحت جلد أبيض من البلاستيك. الكاميرات وراء قناع من تمسح في الفضاء المحيط خوذة الروبوت. ويمكن بالفعل لأسيمو تشديد الخناق، وجلب الصحف، وتحمل رسائل، وتجنب عناء الكراسي والطاولات في هذه العملية. هوندا أيضا تستخدم اسيمو كموظّف استقبال في أحد مكاتبها، فيقوم بتقديم القهوة وتحية الزوار.

وقد ثبت أن لعبة الهوندا لاقت نجاحا كبيرا بين الناس في الإعلانات التجارية، في المؤتمرات، والملاعب. وقد استثمرت الشركات الآسيوية المليارات من الروبوتات من جميع النواحي من هذا القبيل. ويجري

استكشـاف التقنيات الجديدة التي يمكن تطبيقهـا لاحقا على الروبوتات الصناعيـة. وتتضمن هذه الأمثلة الهوب (فوجيستو 2001)، قريو (سوني، 2003)، واكامـارو (ميتسوبيشـي، 2005)، اي كات (فيليبس، 2005)، وال. ب. ر. (اليابـان، 2009)، وغيرها الكثير. وهناك مجموعة كاملة من خصائص الإنسان التي تغذي نفسها مع الكهرباء، والتعلم، وتتحرك مثل البشر، وتتواصل معنا.

تنسيـق تحـركات الروبوتات هي مهمـة معقدة. الروبوتـات الموجودة بالفعـل يمكنهـا أن تتسلق السـلالم، والقفـز والرقص. الأمـر ميكانيكي جدا، ولكنه متعـة للمشاهدة. لا تزال تحركات الروبوت بعيدا عن حركة الإنسان الحقيقي. الروبوتـات ليست جيدة بشكل رهيب في المشي على قدمـين. الأمر ليـس مستغربا، لأن البشـر أنفسهم يحتاجـون على الأقل إلى السنـة للحصول على براعة في المشي. عندمـا نشعر أننا نفقد توازننا، نلقـي أسلحتنا أ ونحول جهدنا من الوركين لاستعادة موقف أكثر حزما. وللأطراف الطبيعية جميع أنواع القدرات الخفية لضبط حركتهم.

تتكـون قدم الإنسان وحـده من عظام صغيرة عديـدة والعضلات التي تمكننـا من السـير بسهولة عبر تضاريـس وعرة أو لينـة. تصبح العضلات متوتـرة الواحـدة تلو الأخـرى حتى نتمكن مـن رفع أقدامنـا في حركة السوائل. حاول بناء آلة قادرة على فعل ذلك. ولكل من لديه ركبة أو ورك الاصطناعي يكون على دراية شديدة بالاقتراحات التي تنتجها؛ الأطراف الاصطناعيـة تقـوم بتدوير أقل من تلك التي تمـر بسلاسة حقيقية سواء في البشـر أو الروبوتات. مفاصل الروبوت هي أقـل مرونة من البشر، لذلك

فإن الارتداء فوقها هي قضية هامة لصيانة التطبيقات الصناعية.

وقد أنتج بعض المصممين مفاصل معدنية معقدة محاطة بالمحركات الصغيرة التي تشبه عضلات الإنسان. الروبوتات الأخرى لديها أقدام كبيرة ومسطحة تمنعهم من السقوط، ولكن هذا أيضا يعني أننا لا يمكن أن نأمل بأن تمشي الروبوتات على طول الطريق وعرة في غابة أو الحقل. السؤال هو، برغم ذلك، إن كان النموذج الإنساني مناسباً. لا أحد يعترض على روبوت أشبه بكلب لتشديد الخناق، شرط أن يزودنا باستقراء أكبر.

الروبوتات قد أصبحت بالفعل كافية للإنسان، ومع ذلك، للتنافس في البطولة السنوية لكرة القدم العالمية. وشهدت البطولة 2009 للروبوتات القيام برميات إضافية بفضل تحسين مراقبة حركات الذراع. يمكن للاعبي كرة القدم المعدنيين الآن إنشاء النماذج العقلية، سيناريوهات من الطرق المختلفة التي يمكن أن تطور اللعبة. بعد كل مباراة، يتشارك المهندسون أسرارهم، ويمكننا كمعارضين التعلم من بعضنا البعض. هذا بسرعة كبيرة تصل نسبة لا تذكر، لضمان التقدم السريع والقفزات الشرائح في الجدول الدوري. ما سيجعل حقاً الجميع يجلسون ويسجلون الملاحظات، هو عندما تصبح الروبوتات لاعبي كرة القدم أفضل من البشر. وقد وضعت منظمة روبوكاب نفسها هدفا يتمثل في إنتاج الروبوتات التي يمكن أن تغلب على فريق كرة القدم الوطني بحلول عام 2050. الهدف النهائي ليس لإحداث ثورة في كرة القدم ولكن لإيصال الروبوتات إلى الكمال في السبل التي تمكنهم من أداء مهام أخرى في بيوتنا والمكاتب والمصانع، على سبيل المثال.

ليس مجرد لعبة أخرى

إنهـا متعة عندما يقوم الروبوتات بتسبيم كرة قدم أو صحيفة أو اللعب، لكنـه سيحتـاج بالكاد لإنقـاذ البشرية. ومـع ذلك، نسـخ البشر وتطوير كـرة القدم الروبوتية نداء واضح. وهـذه الممارسة توفر مساعدة في إنتاج الآلات التـي تكون مفيـدة والتي تعطي لنا الأدوات التـي نحتاجها لدفع الإنسانيـة إلى الأمـام. الروبوتات خطيرة وغالبا ما تكـون أقل من البشر. معظمها لا تبدو كأشخاص معدنية أكثر من المكنسة الكهربائية الروبوتية. وقـد تم تجمـع الروبوتات في المصانـع لدينا أكثر من 40 عامـا حتى الآن. إنهـا تقلل مـن تكاليف العمالة وتقدم الإنتاج الضخـم جنبا إلى جنب مع وجود درجـة عالية من الدقة. بدأ كل شيء مـع تجمع الروبوت بسيط في شركـة جنرال موتورز في عـام 1961. إذا كنت تأخذ نظـرة داخل مصنع للسيـارات التصنيـع الحديثة، سوف تجد واحد روبـوت مقابل كل عشرة عاملـين. بحسب الاتحاد الدولي للروبوتات[1]، هناك حوالي بضعة ملايين مـن الروبوتات الصناعية في جميع أنحـاء العالم. سوف تكون الروبوتات الصناعية في المستقبل قادرة على أداء المزيد من المهام، والاستجابة للتغيرات بسرعة أكبر، والكشف عن فشل وشيك.

هناك فرق كبـير بين هذه الآلات والناس. الروبوتات الصناعية تفعل دائما بالضبط نفس الشيء، تماما كما تم برمجتها. بمجرد أن تعلمت منهم كيفية اللحام أو الطلاء، يمكنها أن تكرر نفس الإجراء الآلاف من المرات، وغالبا بدقة أكبر

(1) See http://www.worldrobotics.org

مما يمكن للبشر إدارة الأمر، وهنا تكمن قوتهم. في كثير من الحالات، السبب في إدخال الروبوتات غالبا ما لا يكون حول التكلفة ولكن الدقة. والروبوت هـو، بعد كل شيء، أكثر كلفة في معظم الحالات من شخص بأجر. فإذا كان نموذج السيـارة من التغييرات، والروبوتات يجب أن يتعلم ما يجب القيام به في كل مرة أخـرى. ليست الروبوتات الصناعيـة والأجهزة المتخصصة، إنما الموظفين الأكثر تنوعا وقدرة على أداء مهام مختلفة في كل يوم.

لتكون أكثر فائـدة، وينبغي أن تكون الروبوتات أكثر بشرية، وربما ليس في مظهرها ولكن من حيث أدائها. الصناعة تتطلب بشكل متزايد المرونة. بعـد ملحومة وحدة الجرف الصلب معـا، ينبغي أن يكون الروبوت قادرا على التبديل على الفور إلى الصلب. حيث إن المعرفة المكتسبة من بناء البشر لعبة يأتي اللعب فيها مع الروبوتات ويعلمنا كيفية الاستجابة بشكل أسرع للتغـيرات وكيفية اكتشاف الأخطاء الوشيكة. الروبوتات الصناعية تحتاج إلى مزيـد من الإنسـان في الطريقة التي ينظرون بهـا إلى محيطهم، وكيف أنهـا تستجيب لحالات غـير متوقعة. لهذا السبب، التعـاون بين الأجهزة والتفاعل مع البشر أصبحت ذات أهمية متزايدة.

حجرة العمليات

(يشكل الروبوت والنـاس مزيجا رائعا جدا)، يلاحظ مارتن ستاينباخ، أستـاذ النظم والتحكم في جامعـة ايندهوفن للتكنولوجيا في هولندا. لديه مصلحـة خاصة في الطريقة التي تسيطر عليها الأجهزة –المنطقة التي كان يعترف بأن بها عدد من الاختراقات المطلوبة. (البشر والروبوتات يعملان

معا بشكل وثيق للغايـة في بعض الأحيان. مثال واحد هو عمليات البطن الذي يستخدم الجراح فيها عصا للتحكم في الروبوت). وفي هذه الحالة، ذراع الروبـوت هو الأنبوب الذي يدخل في البطن من خلال شق صغير، وتوصل بها كاميرا وأدوات القطع. يتحكم الجراح في الروبوت من خلال وحـدة التحكم التي توفر الموسع، صورة ثلاثية الأبعاد، وضمان قدر أكبر من الدقة. (يمكن للأطباء تكبير التفاصيل التي يريدون أن يروها، وتتضخم تحركاتهم وفقا لذلك)، يوضح ستاينباخ. (ويمكن أن تعمل بعد ذلك على المرارة، أو لإزالة الزائدة الدودية، أو إصلاح فتق).

ولكن الجيـل الحالي من الروبوتات الطبية له حدوده. إنها كبيرة وثقيلة، ممـا يجعل من الصعـب نشرها. ما هو أكثر من ذلك، إنها تأخذ وقتا طويلا للاصطفاف. (لكن الروبوتات أصبحت أخف وزنا وأسهل للاستخدام)، كمـا يقول ستاينبـاخ. ويضيف (نحن نعمل أيضا علـى الروبوتات الطبية التـي هي أكثر استجابة للجراح). يرتكـز هذا على حقيقة أن الجراحين لا (يشعرون) بالمريض عندما يعملون مع عناصر تحكم على حدة. ومع ذلك، العنصر عن طريـق اللمس هي مهارة هامة الجراحية، والجراحون يتعلمون كيفيــة تقييم النسيج باستخدام أصابعهم. (من الصعب للغاية توفير التغذية الراجعة التي من شأنها أن تعطي الجراحين هذا الشعور عن طريق اللمس. عليـك تصميم الأدوات الطبية بطريقة مختلفة إذا كنت ترغب في الكشف عـن القوى التي تشـارك. نقوم بإجراء البحوث في مجـال التصور، أيضا، حتى نتمكن من معرفة بالضبط ما تريد أن تشعر الجراحين وكيف. ويجب على الضوابط الإلكترونية أن تحيل تغييرات في النسيج للجراح).

في بعض الحالات، ستكون القوة شيئاً يستطيع الجراحون تجربته لأول مرة. (هذا هو الحال مع عمليات العيون، على سبيل المثال، التي تعد واحدة من التطبيقات التي كنا نعمل عليها أثناء تطوير الروبوت الطبية،) يقول ستاينباخ. (حتى الآن، لم يكن للجراحين أي إحساس جسدي عند العمل مباشرة على العين، لأن الأنسجة لينة للغاية. يمكننا منحهم نوعا من ردود الفعل اللمسية التي لم يصابوا بها من قبل). التقنيات التي يجري تطويرها لهذه الروبوتات لديها أيضا العديد من التطبيقات الأخرى. (إننا ندرس إمكانية، على سبيل المثال، وضع قسطرة التحكم عن بعد لعمليات القلب، إمكانية تطبيق نهج ردود الفعل اللمسية على السيطرة على المركبات).

الروبوتات الشخصية

الروبوتات ستضم أكثر فأكثر في حياتنا اليومية، يعتقد مارتن. السكان والشيخوخة، وهناك بالفعل عدد قليل من الناس أيضا لمساعدة المسنين على اللباس، والاغتسال، وتناول الطعام. سوف تكون هناك حاجة ماسة في المستقبل للأيدي الاصطناعية للمساعدة في جميع أنحاء المنزل. وتعتقد تويوتا أن رعاية الروبوتات ستصبح قريبا شائعة مثل السمع. على الرغم من أن هذه الأمور ليست بعيدة جدا، لا يزال المهندسون يواجهون عددا من المشاكل لحلها. (تخفيف الدعم عبر تخزين تورم ساقه يأخذ هذا النوع من الدقة والمرونة التي لا أحد سوى الإنسان يمكن أن يقدمها. إنها طريقة معقدة للغاية بالنسبة الروبوتات. وتواجه الروبوتات في المنزل مع المواقف غير المتوقعة التي لديهم للرد بشكل مناسب. الروبوتات لا تتقن

الملاحظة بما فيه الكفاية، ومعالجة الصور، أو حركة لتكون قادرة على القيام بذلك حتى الآن. الصعوبة تكمن في أن تصميم الروبوت يتطلب منك على الجمع بين المعرفة من تخصصات مختلفة للغاية. إنها تنطوي على المهندسين الميكانيكيين والمهندسين الكهربائية والفيزيائيين، والمتخصصين في تكنولوجيا المعلومات، كل مجموعة مع أساليبها وأدواتها الخاصة. كل الذي عليك أن تضعه في آلة واحدة ذات تقنية عالية).

هناك حاجة أيضا إلى عدد من الاختراقات في الطريقة التي تعمل الأجهزة والسيطرة عليها. (القدرة المحدودة على البطارية لا تزال تمثل عقبة خطيرة في هذه المرحلة،) يعترف ستاينباخ. (هناك الكثير من الوظائف التي تتطلب الروبوتات لتكون قادرة على التحرك بشكل مستقل لفترة أطول). وفي الوقت نفسه، فإننا قد نقوم بتعليم الروبوت كيفية العثور على مآخذ الجدار لإعادة شحن بطارياتها. أجهزة الاستشعار والسريع في مكان قريب بما فيه الكفاية حتى الآن سواء. (أنت بحاجة لمراقبة محيطك بشكل أسرع إذا أنت تسير على الاستجابة بشكل فعال. تكنولوجيا الاستشعار لا تصل إلى ذلك بعد).

هناك نقص في التوحيد، أيضا، الأمر الذي يعني أن كل مشروع روبوت جديد لا بد أن يبدأ من الصفر. هناك حاجة ملحة لنوع من منصة التنمية المشتركة بحيث يمكن إدراج التطورات السابقة بسهولة في تصاميم جديدة، من شأنها أن تسهل أيضا تطوير برنامج التشغيل عن الروبوت، التي لا تزال غير فعالة للغاية في هذه المرحلة. (الروبوت البرمجيات المعقدة،) يؤكد ستاينباخ. (البحث عن المفقودين وتصحيح الأخطاء أمر صعب ويستغرق وقتا طويلا. البرمجة أيضا صعبة، خصوصا عندما تقوم الروبوتات المختلفة

بالتعاون أو عندما يأتي البشر في المعادلة. الروبوتات قد تقوم بتمرير العناصر فيما بينها وتنسيق أعمالهم. ولكنها يمكن أن تحصل أيضا في طريقة كل منهما. كلما أصبحت الأجهزة أكثر مرونة، كلما باتت تعمل أكثر، وكلما كان من الصعب تتبع ما إذا كان كل شيء يسير بسلاسة).

هذه الصعوبات ليست مفاجئة، بالنظر إلى أن يتم التحكم مركزيا في كل حركة الروبوت ويحدد سلسلة من القواعد. البديل هو جعل الروبوتات أكثر تكيفا. عندما يتم قياس تأثير كل حركة التي يقدمونها، فإنها قد تعلم كيفية تحويل أرجلهم أو نقل أسلحتها في اللحظة المناسبة. أن تتحول إلى أن تكون أسهل بكثير من محاولة حساب كل حركة من سلسلة من المحركات الكهربائية. ويمكن لهذا النوع من الروبوتات المشي على ركائز متينة.

وقد نشأ هذا النهج من معرفتنا للنظم المعقدة. وإنها مجرد واحدة من النهج البديلة المحتملة. إذا كانت الروبوتات تلعب كرة القدم، وترفع امرأة مسنة من السرير، أو تعمل على عينيك، مطلوب دائما قدرا كبيرا من التفاعل. ويجري حاليا طلب الروبوتات تدريجيا للقيام بمهام أكثر تعقيدا في ردود الفعل التي وتزداد أهمية الربط البيني. وزيادة المعرفة النظم المعقدة تساهم بشكل كبير في تحسينها.

(نحن فقط في بداية الوقت الراهن)، يعتقد مارتن ستاينباخ. الروبوت تمثل الثورة الصناعية القادمة. الوقت بالنسبة لهم أكثر نضوجا الآن مما كانت عليه قبل عشرين عاما. خلال بضع سنوات من الآن، سيكون هناك نوع من الروبوت في العديد من المنازل. هذه التكنولوجيا بدأت تتقارب. نحن نتعلم كيفية التعامل مع تعقيد تفاعل الناس مع الروبوت.

الفصل الرابع

البشر

1 - رعاية الحياة

البشر هم أكثر تعقيدا بكثير من أي تكنولوجيا يمكننا استنباطها اليوم. كم من الآلات هي جيدة لمدة 80 أو 90 عاما من الخدمة؟ نظام المناعة لدينا، التي وضع عند الولادة غير قادر على صد الأمراض التي لم تكن موجودة حتى الآن. ويمكن هزم معظم الفيروسات التي تتكاثر بعد 50 عاما من ولادتنا بنفس السهولة التي تعالج فيها الأمراض التي تعانى منها البشر على مدى أجيال. الرعاية الصحية الفعالة تعني، في معظم مناطق الكوكب، العيش لفترة أطول وأطول. كل نفس، والبشر ليسوا مثاليين: نحن نمرض ونبلى بمرور الوقت. في أغنى المناطق، ننفق الكثير من المال في محاولة للحصول في أقرب وقت ممكن لفترة 100 عام من العيش. المهمة الأكبر لنا هي تحقيق حياة طويلة وصحية وجعلها في متناول أكبر عدد ممكن من الناس. والمطلوب تكنولوجيا جديدة لخفض تكاليف الرعاية الصحية، ووأد المرض في مهده، وتخفيف الآلام التي عانى منها البشر في العصور القديمة. يعتقد العلماء أنه يمكن تحقيق فوائد كبيرة من خلال تحديد العيوب في وقت سابق.

النمو السرطاني بقياس بضعة ملليمترات فقط لا يزال غير مؤذٍ نسبيا، والعدوى التي نتعرف عليها في مراحلها المبكرة لا تترك لنا أي ندوب. على الرغم من أن التقنيات لتشخيص التشوهات بدقة الأولية غالبا ما تكون مكلفة للغاية، التشخيص الفوري يعني عموما أن العلاج سيكون

أسهل وأرخص وأكثر احتمـالا للنجاح. وبالتالي، يمكننا في نهاية المطاف توفير المال على الرغم من الحاجة إلى معدات باهظة الثمن. على نحو كاف لمكافحـة تفشي الأمراض في المستقبل، يجب أن يكون لدينا التكنولوجيا القادرة علـى الاستجابة بسرعة أكبر. هذا يمكـن أن يشكل تحديا من نوع خاصـ لأن هناك أيضا اتجاه نحـو التخصص أهم في الوقت الحاضر، وهو تفتيـت المعرفة الطبية وتباطؤ الـردود، والمثل على ذلك هو جراحة العيون في مختلـف التخصصات التي تركز على أجزاء محـددة للغاية للعين. يصبح الأمـر على ما يرام بمجرد إجـراء التشخيص الدقيق، ولكن يمكن أن يكون مشكلة كبيرة إذا قام المريض باستشارة الطبيب الخطأ في البداية.

الطريقـة التي نقـارب فيها التشخيص بحاجـة إلى تغيير. وسوف يحال المريضـ الذي يعاني من عوارض مع مرضـ لا يمكن التعرف علية بسهولة إلى أخصائي، وسوف نضطر إلى اتخاذ سلسلة من جميع أنواع اختبارات الـدم، وفحصـ وتدقيقـات أخرى. يمكـن أن تتحسـن العمليـة بشكل ملحـوظ وسريـع إذا تم الجمع بين هـذه الامتحانات. المعـدات موجودة بالفعـل ويمكن أن تنفذ عدة أنواع من عمليات التفحص في الوقت نفسه، والعلمـاء يحلمون بجهـاز تشخيص عالمي قادر على مسـح كل شيء في تمريرة واحدة. خلال عشرين عاما، سيصبح هذا الحلم حقيقة واقعة. وهذا أيضـا طمس للتمييز بـين التشخيص والعلاج، لأنـه في المستقبل، سوف تكون معدات المسح أيضا قـادرة على بدء العلاج فورا. العمل يجري في المختبرات لتطوير حبوب منع الحمل الذكية، والمساحيق، والمشروبات التي تحتوي على العوامل التـي تسعى بشكل مستقل عن فصل الأجزاء المصابة

مـن الجسم لتحييد الخلايا المعطوبة، وذلك باستخـدام الطاقة التي توفرها أجهزة المسح الضوئي. وبالتالي، سوف يصبح المسح الضوئي متكاملا مع الأجهزة العلاجية. وسيتم خفض فترات الانتظار لأنه سيتم علاج المرضى مباشرة بعد التشخيص.

لعلاج الأمراض على نحو أكثر فعالية، نحن أيضا في حاجة إلى فهم أكثر وضوحـا بكثير لما يسبـب لنا حقا المرض. هذا يأتـي بنا في نهاية المطاف لتنصـل إلى فهـم أعمق لعلـم الأحياء المجهريـة، والكيميـاء والفيزياء في أجسامنـا. أي عطل في نظام هيئتنـا يواجهنا مع كتلة معقدة من العمليات المختلفـة، نحـن الآن فقـط بدأنـا بفهمها. وهـذا يشكل تحديـا آخر هو المشكلـة المعقدة. الحلول العملية هي أخذ أفضـل معرفتنا في مجالات مثل الإلكترونيـات والهندسة الميكانيكية والاتصـالات السلكية واللاسلكية، وأنظمة التحكم، وكذلك في العلوم الطبية.

الأمراضـ المعدية هي واحدة مـن المشكلات الصحية الكبرى في القرن الحادي والعشرين. حتى لو كان وباء عام 2008 أقل تدميرا مما كنا نخشى، يمكـن لوباء الإنفلونزا الجديـد أن يكون على حد سـواء وشيك وكارثي. ويمكن لأي وباء من هذا القبيل قتل مئات الملايين من الناس، مما تؤدي إلى موت جزئيـة من سكان العالم. سوف يكون من الصعب إدارة الإمدادات لأن العوامل المضادة للفيروسات محدودة ومكلفة. الناس الذين يعيشون في البلـدان التي ليس لها شركات لقاح، وهم أكثر من 85 في المئة من البشرية، سيكون لهم احتمال ضئيل للتحصين. ولذلك هناك حاجة لمناهج جديدة لمواجهة جائحة ووشيكة.

هناك المزيد عن الرعاية الصحية، ولكن، أكثر من مجرد الكشف والتعامل مع تشوهات الأماكن المشتبهة في الجسم. الموقف المفتاح الذي نحن بحاجة إلى متابعته في المستقبل هو على الأرجح على معرفة دقيقة عن كيفية منع حدوث مشاكل في المقام الأول. وهي أيضا مسألة حفظ نشطة وقادرة على إعالة أنفسنا. يمكن للأشخاص المسنين على وجه الخصوص الاستفادة من المعدات التي تساعدهم على البقاء مستقلا لفترة أطول. ويمكن لتكنولوجيا أن تفعل الكثير لجعل الشيخوخة ممتعة أكثر. نحن قد لا نعيش لفترة أطول، ولكن يمكننا على الأقل في بضع مراحل أن ننال راحة أكثر من الحياة.

هناك أشياء كثيرة لا نفهمها حتى الآن. أجسادنا، والطبيعة ككل، لا تزال تعقد الكثير من الأسرار. وكانت الطبيعة تجد الحلول الذكية مليار سنوات قبل ظهور الإنسان، وهناك الكثير الذي يمكننا أن نتعلمه منها. وقد تطور قدرتنا الأمثل لضمان مستقبل جنسنا البشري. فإنه يدفع إلى تقليد العالم الطبيعي، وعند الاقتضاء، تحسين عملياته.

2 - الجسد الشفاف

لقد تمت معالجة الكثير من الأمراض السهلة في العالم الغربي، وتم ترك الأطباء ليتعاملوا مع أمراض أكثر تعقيدا تتجاوز خلية الجسم. ثلثا الوفيات في الولايات المتحدة الآن يرجع إلى الإصابة بالسرطان أو مرض الشريان التاجي. في الوقت الذي تعبر عوارض المرض عن نفسها، ففي كثير من

الأحيــان، يكون قد فات الأوان للتدخل. من المرجح أن ينجح العلاج إلا إذا كان من الممكن الكشف عن العلامات المبكرة للنمو سرطاني أو انسداد الشرايين[1]. ومن الواضح أن ورما بقياس بضعة ملليمترات هو أقل تهديدا من واحد في حجم كرة التنس، وبالتالي يتم التركيز على تعزيز التشخيص السريع، وهذا بدوره يعني تحسين التصوير الطبي.

وتستنــد ثمانين في المئة من جميع التشخيصات على الصور. ومع ذلك لا تزال العديد من العمليات الفيزيائية صغيرة ولكن المهددة للحياة تعرف مــن الماسحات الضوئية والرسوم البيانية الصدى، والأجهزة الأخرى التي لهــا أقران داخل أجسامنا. غالبا ما يتــم الميل إلى تجاهل قياس معدلات نمو أقــل من سنتيمتر واحد، لذلك يعمل العلمــاء باستمرار على تقنيات قادرة علــى تقديم صــورة أكثر تفصيــلا للداخل. ويمكن لتحقيــق اختراقات في تكنولوجيــا التصوير أن يشكل فرقا بين الحياة والموت. وسوف تمكننا من التدخل عاجلا، لزيادة فرص بقاء المريض.

قبل أكــثر قليلا من جيل مضى، كانت الأشعــة السينية الوسيلة الوحيدة لدينــا للنظر داخــل الجسم البشري. الصــور التي تنتجهــا مسطحة، ومع ذلــك، تفتقر إلى عمق المعلومات، التي يمكــن أن تجعل من الصعب عليهم تفسير. ولقــد ابتكرت تقنية بارعة لذلــك في السبعينيات والتي سمحت بصورة ثلاثية الأبعاد ليتم إنشاؤها من خلال الجمع بين سلسلة من الصور

---

(1) Deaths، percent of total deaths، and death rates for the 15 leading causes of death: United States and each state، 1999–2005. U.S. Department of Health and Human Services، 2008.

الفوتوغرافية للأشعة السينية. كان التصوير المقطعي المحوسب التقنية الأولى لإنتاج صورة حقيقية ثلاثية الأبعاد من الدواخل لدينا. يمكن أن يقول الأطباء الآن، على سبيل المثال، إذا كان يقع خلل على رأس العظم أو تحتها. أصبحت تقنيات أخرى عديدة لإنتاج صور ثلاثية الأبعاد للجسم منذ ذلك الحين متاحة، وبعضها يتطلب حقن المرضى مع وكيل النقيض لتسليط الضوء على أجزاء محددة من الجسم.

في حالة المسح الضوئي (الرسم السطحي لبوزيترون الانبعاثات)، يتم حقن المريض بمادة تشبه السكريات الطبيعية، مع فارق أن صيرت جزيئات السكر مشعة قليلا بحيث يمكن الكشف عنها خارجيا. يمكن لماسح التصوير، عبر التصرف مثل الكاميرا، أن يتعقب على وجه التحديد السكريات وهي ذاهبة إلى الأنسجة التي تتطلب قدرا كبيرا من الطاقة. وبالتالي، لا تولد صورا للتشريح لدينا على هذا النحو ولكن من استهلاك الطاقة في مواقع مختلفة داخل الجسم، الذي يجعلها مفيدة بشكل خاص للكشف عن الانبثاث، والتي تستهلك طاقة أكثر بكثير من الأنسجة الأخرى.

السعي هو للعثور على عوامل التباين الجديدة القادرة على الكشف عن مزيد من العمليات والتفاصيل الدقيقة للجسم البشري. وقد أدى هذا إلى تطوير فرع منفصل من العلم يسمى التصوير الجزيئي، الذي يركز على العوامل الجديدة التي تشبه الجزيئات النشطة من الناحية الفسيولوجية وتلتصق بالأماكن (النشطة) في الجسم. ويجري بحث الوكلاء، على سبيل المثال، على ما يحط على الخلايا المحتضرة، وتقديم أدلة حول ما

إذا كان في عضلـة القلـب. يجب تعيين هذه الجزيئـات بشكل يجعل من الممكن الكشف عن نوبات قلبية في وقت مبكر بما يكفي لإنقاذ العضلات الفاشل. العلماء يعملون أيضا على الجيل الجديد من الجزيئات الموثق الذي سيجلـب الكشف المبكر عن سرطان الخلايا الفردية في متناول اليد. وهذا بـدوره يتيح التدخل قبل حـدوث ضرر لا يمكن إصلاحـه. على النقيض من ذلك، الـوكلاء الجدد ليسوا بالضرورة المشعـة، ويمكن ملاحظة المواد أكـثر تطورا من خارج الجسـم بفضل خواصها المغناطيسيـة أو الضوئية. هنـاك عوامل، على سبيل المثال، يمكنها أن تبعث الضوء عند تسليط الليزر عليها[1].

ماسحات ضوئية أقل وبيانات أكثر

تقوم الكيمياء الحيوية الجزيئية باستمرار بتكرير تقنية المسح المتاحة، على الرغم من أنه سوف يستغرق وقتا طويلا لهذه التطورات لتجد طريقها إلى المستشفـى المعدات القياسية. يمكننا أن نتطلـع إلى التدفق المستمر لتقنيات الفحص الجديدة، كل منها سيلقي صورا لجوانب مختلفة من الجسم. هذا لا يعنـي بالضرورة أن عدد أجهزة المسح سوف يزداد أيضا، وفي اتجاه مواز، يجـري الجمع بين هذه الأساليـب الفردية في نفس الجهـاز. لدينا بالفعل الماسحات الضوئية، على سبيل المثال، التي يمكن أن تؤدي في نفس الوقت

(1) Zaidi، H. (2006). Recent developments and future trends in nuclear medicine instru-mentation. Medical Physics، 16(1)، 5-17.

عملهـا وتقوم بالمسح. توفر الصورة معلومات حـول المواقع الوظيفية في الجسـم التي تستهلك الكثير من الطاقـة، في حين أن الأشعة المقطعية يوفر مستوى عاليا من التفاصيل الهيكلية[1].

الماسحـة الضوئيـة المثاليـة تقـوم بعرض كل شـيء حتى آخـر ميليمتر، وتكشـف عن الظروف الخبيثة مثل السرطان في أقرب وقت لأنها تبدأ في التطور. والتكنولوجيا الجديدة مثل الماسح الضوئي هذا يعني خطوة كبيرة إلى الأمام في مجال مكافحة ثلثي الأمراض القاتلة العالم الغربي، على الأقل مـن الناحية النظرية. وجميع هـذه الصور لا تزال بحاجة إلى تحليل، وهذا يمثل مشكلة متزايدة. سوف يولد متوسط المؤسسة بالفعل آلاف غيغابايت مـن الصور في السنـة، وسوف تقوم تقنيات المسـح الذكية فقط.بمضاعفة كميـة البيانات. وسوف تجمع بين تقنيات المسـح المختلفة لتولد فيضا من معلومات إضافية حول الجسم.

ناقشنـا هذه التحديات مع جـاك سوكيه، وهو خبـير في مجال التصوير الطبي الذي قضى سنوات عديدة في أنظمة فيليبس الطبية والموجات فوق الصوتيـة، ولديه العديد من براءات الاختراع باسمه. بعد أن عاد إلى وطنه فرنسا، أنشأ سوكيه شركة المعدات الطبية الأسرع من الصوت، وهو يرأس الآن أيضـا سونوسايت. كلا الشركتين تواصلان تطوير أشكال أكثر تقدما مـن التصوير والأجهزة العلاجيـة. (المتخصصـون في التصوير الطبي في

(1) Zaidi، H.، and Prasad، R. (2009). Advances in multimodality molecular imaging. Journal of Medical Physics، 34(3)، 122–128

أيامنا هذه يقومون بعرض أكثر 10000 صورة في اليوم من أجل القيام بعملهم بشكل صحيح). (نحن على وشك الوصول إلى النقطة التي تصبح ببساطة الكثير)، كما يحذر سوكيه. إنها مضيعة للوقت ومكلفة لدراسة جميع هذه المواد في التفاصيل، والحدود للقيام بهذا العمل يدويا أو بالأحرى بصريا، يتم التوصل إليها سريعا. ليس هناك نقطة في تحسين تقنيات المسح الضوئي، بحسب سوكيه، وإذا كانت النتيجة هي وضع الأطباء تحت ضغط أكبر. (لقد تجاوزنا بالفعل قدرتنا البشرية لتقييم هذه المواد).

إنها ليست فقط أساليب المسح الجديدة لمسح التي تضاف إلى دفق البيانات. التحسينات الموجودة في التكنولوجيات تقوم بفعل ذلك أيضا. كل جهاز مسح ضوئي فردي يقوم بتدفق المزيد من البيانات من أي وقت مضى. وعدد الماسحات الضوئية في ازدياد مستمر حيث انخفضت الأسعار والحجم. كما يمكن استخدام الماسحات الضوئية في سياقات جديدة، وفقا لسوكيه. (لقد قمنا بتطوير وحدة التصوير بالموجات فوق الصوتية للجيش الذي يمكن وصلها بجهاز الكمبيوتر المحمول. إنها صغيرة جدا لدرجة يمكنك استخدامها بطريقة جديدة تماما. الجهاز يشبه سماعة الطبيب ولكن ينتج التمثيل البصري لما يحدث داخل الجسم. معدات التصوير صغيرة وسهلة الاستخدام، وسرعان ما تبدأ في الظهور في المستشفيات أيضا. ويتوقع عدد متزايد من الماسحات الضوئية في غرف الاستشارات، وأجنحة المستشفيات وغرف العمليات. والمتخصصين لتكون قادرة قريبا على حمل المعدات التشخيصية حولها في جيوبهم،

مثلما فعلت دائما مع سماعة التقليدية). سوف تجد التكنولوجيا نفسها طريقها على نحو متزايد إلى بيوتنا أيضا. الأنظمة الإلكترونية التي تكشف عن فشل القلب متوفرة بالفعل، والأنظمة المحمولة للتشخيص الطبي لقياس مستويات السكر في الدم أو محتوى الأوكسجين شائعة أيضا.

وسوف يصبح هناك قريبا مجموعة واسعة من القياسات الأخرى المضافة. المعدات تصبح أصغر حجما وأسهل في الاستخدام، وأكثر حساسية. فإنه لن يمضي وقت طويل قبل أن نتمكن من الكشف عن عدم انتظام ضربات القلب في المنزل وكذلك النوبات القلبية، لهذه المسألة. هذا هو المستقبل وفق سوكيه: (الناس يواجهون بالفعل وظيفتها مراقبة القلب عن بعد، والتصغير التي سيجعل من الأسهل بكثير. عليك أن تكون قادرا على تحمل إلكترود حولها في محفظتك أو الهاتف المحمول التي سوف تلتقطه ويحيل معدل ضربات القلب. تم إنشاء مثل هذه الخدمات للأشخاص الذين يعانون من مرض في القلب. لكن أكبر المستخدمين سليمون للغاية ولكن يخشون من أن تصاب بالمرض).

تشعر بالقلق إزاء الآثار المترتبة على هذا التطور، مما يعني أن البيانات الطبية من الأشخاص الأصحاء أيضا ستبدأ بالتدفق إلى المستشفيات. (غالباً ما يشك الأطباء في أن شيئا ما ليس صحيحا تماما. ثم ماذا؟ ليست كل حالة كما هو واضح في أزمة قلبية. كيف يفترض بك أن ترد على همهمة القلب، والاختلاف في قدرة الرئة، أو زيادة طفيفة في نسبة الكولسترول في الدم لديك؟ هل هذه علامة على أن شيئا خطيرا يوشك أن يحدث؟ الأطباء سيكونون في مواجهة مع الكثير من المرضى الذين يقلقون من دون

وجــود أي شيء تقريبا خاطئ. ولكن لتكــون على الجانب الآمن، سوف يكــون من الضروري إجراء فحص إضافي. لا يزيد الأمر فقط من تكاليف الرعايــة الصحية، لكنه ســوف يولد أيضا بعد موجة أخــرى من البيانات التصوير).

الكمبيوتر تتسلم زمام الأمور

طريقــة واحــدة للتعامل مع طوفــان من الصور يجــب أن تكون تحسين التصــور. جميع مورّدي معدات التصويــر الطبية يقومون بعمل جدي في هــذا المجــال. هو خدعة لتجميــع البيانات من مصادر مختلفــة إلى واحد، وسهلة التنقل، إلى التسليم. هذا يدفع منتجو البرمجيات الطبية أن ينظروا إلى صناعة الألعاب لمعرفة كيفية التنقل من خلال الصور من الجسم باستخدام الماوس أو ذراع التحكم، مثل الألعاب استكشاف طبيعة الخيال. لون كل هيئــة مختلفة، ويبدو أن يعوم في الفضاء. يخفــي الكمبيوتر المناطق التي لا صلة لها بالموضوع، ويضيف التفاصيل كلما لزم الأمر. فمن الممكن الآن القيــام بجولة افتراضية في الجسم. يمكننا السفر إلى أسفل القصبة الهوائية، على سبيل المثال، وإلى الرئتين، لتركيز الاهتمام على الفص الرئوي وتحديد العدوى.

سوف يكون الأطباء قادرين على استكشاف الأوعية الدموية، والمسالك البوليــة والجهاز الهضمي بطريقة مماثلة. يجــري العمل المكثف أيضا على تقديم رؤية متقدمة في غرفة العمليات، حيث إنها سوف تتحد مع أحدث تقنيــات المسح الضوئي لتمكين الجراحين من معرفة الحق من خلال جسم

المريض. و ستكون قادرة على رصد بدقة كبيرة، على سبيل المثال، كما هو الحال عن طريق إدخال إبرة في العمود الفقري وإلى السائل الشوكي. سوف يصبح المريض شفافا، كما التسمية الحرفية.

سوف يجعل تحسن التصور التنقل خلال الجسم أسهل. لكن الأمر لن يكون كافيا للكشف عن المرض من كل البدايات ممكنة، يحذر جاك سوكيه. (وبما أن القرار من تقنيات التصوير يرتفع، من المرجح أن تزداد الصور بشكل كبير، وسوف ينفجر عدد من التفاصيل ذات الصلة. ونحن في طريقنا لبناء المزيد من الاستخبارات في البرنامج بحيث يمكن تفسير ما نرى. يمكن للكمبيوتر المساعدة في التشخيص، لنقل، عبر رسم دائرة حمراء حول أي شذوذ). ولتحقيق ذلك، سوف يتم حفظ المعرفة التي تتواجد حاليا في رؤوس الأطباء في جهاز الكمبيوتر. يجب أن تتعلم البرمجيات العديد من العوامل المختلفة التي يقيمها طبيب الأشعة عند النظر في بقع صور قاتمة في الأمعاء، وتصلب في الكلى، أو أبعاد القلب، على سبيل المثال. يجب أن يتعلم الكمبيوتر كيفية تحديد التفاصيل الضرورية من هذه الهيئة الهائلة من المعلومات.

الطريقة الوحيدة للقيام بذلك هي استخدام أرشيف الصور الكبيرة التي تم بناؤها بالفعل في المستشفيات. ويمكن تغذية الكمبيوتر القديم بيانات المرضى وتدريبهم على التعرف على خصائص ظروف مختلفة. هذه النتائج في مجال الإحصاءات المعقد، كما تحدث مع بعض أعراض أمراض عدة، ويمكن أن يصاحب بعض الشروط أعراض مختلفة. بواسطة هذه الإحصاءات، يمكن لبرنامج الكمبيوتر تحليل أعراض المرضى الجدد،

واقتراح التشخيصات المحتملة. لمزيد من البيانات المتوفرة عن المرضى من اختبارات الدم أو رسم القلب، على سبيل المثال، أكثر من جهاز الكمبيوتر سوف تكون قادرة على القضاء على إمكانيات خاصة. يمكن للبرامج التي تشير أيضا إلى الاختبارات توفير قدر أكبر من اليقين.

وتحليل من هذا النوع يصبح أسهل كلما يصبح الفحص لدينا أكثر تواترا. سيقوم الكمبيوتر بتحديد أي شيء جديد أن يظهر في الصور، مما يسمح للخبراء التركيز على هذا الموقع بالذات. بالفعل تقنيات مشابهة راسخة في علم الفلك، ولطالما واجهت تحديات من هذا القبيل، مما دفع العلماء إلى تطوير تقنيات تحليل التغييرات التي تبرز في الصور المتعاقبة. ويمكن أيضا أن تطبق هذه على الجسم البشري. قد يفسر بالفعل أجهزة الكمبيوتر بشكل أكثر فعالية من تصوير الثدي بالأشعة السينية مما يفعل للأطباء. المؤشرات تدل على أن جهاز الكمبيوتر المهني تفوق على الإنسان في تشخيص سرطان الثدي[1].

ولكن هذه مجرد بداية. وستكون مساعدة الكمبيوتر هامة بشكل متزايد كلما واصلت المعرفة الطبية التجزئة. التخصص والزيادة فائقة حتى التخصص قد يكون من الضروري كما تعمق معرفتنا بالأمراض. ولكن التخصص هو أيضا مشكلة متزايدة بسبب ما يشار إلى المرضى للخطر المتخصص الخطأ في بداية عملية التشخيص. أجهزة الكمبيوتر لديها

(1) Result are not yet conclusive; cf. Krupinski، E. A.، and Jiang، Y. (2008). Anniversary paper: Evaluation of medical imaging systems، Medical Physics، 35(2)، 645–659.

القدرة على توفير المهن الطبية مع المعرفة التي من شأنها أن تقع عادة خارج مجال تخصصهم.

يتغير دور الطبيب طالما الحوسبة مستمرة. ينبغي لنا أن نتوقع بدء إنتاج أجهزة الكمبيوتر لتشخيص أفضل من الأطباء لظروف أكثر وأكثر. وربما، سوف يكون في نهاية المطاف تشخيص الجهاز الأفضل في حالة بعض الأمراض. هل سنكون ما نزال بحاجة إلى الإنسان لكي يقول لنا أننا مرضى؟ جاك سوكيه يؤكد أنها مهمة تشخيص الطبيب، وليس الجهاز. (لكن سوف يوجه البرنامج اهتمام الطبيب إلى التشوهات الممكنة حتى يتمكن من اتخاذ الحكم النهائي. ولكن إذا كان طوفان البيانات التي تم إنشاؤها بواسطة الصور الطبية أكثر تفصيلا وتنوعا من أي وقت مضى، فمن المؤكد أن لا مفر من أن الخطوة المقبلة ستكون لأجهزة الكمبيوتر للاستيلاء على التشخيص الفعلي للغاية)، بحسب سوكيه.

من الماسح الضوئي إلى العلاج

تصبح درجة الحوسبة أكبر كلما يتم دمج تقنيات المعالجة مباشرة في عملية التشخيص. كلما تتطور المعدات التشخيصية، يجد جاك سوكيه نفسه مع التركيز أكثر فأكثر على المداواة والتشخيص والعلاج الذي يتداخل على نحو متزايد. يحلم بمعدات قادرة على فعل إجراء المسح داخليا للمريض ومن ثم بدء العلاج فورا. المفتاح هو استخدام الماسحات الضوئية في تركيبة مع وكلاء النقيض من ذلك، والتي يمكن أن تلتصق مواقع المرض بدقة متزايدة. والخطوة التالية هي واضحة، ويقول سوكيه:

(إذا تم انتقــال عوامل التباين ي إلى الصفر في المنطقة المتضررة، فإنها يمكن أيضا بدء العلاج حالما نصل إلى هناك. الكيميائيون وعلماء الأحياء يعملون على تقنيات لإضافة الأدوية لهم، وذلك باستخدام الجزيئات التي ستكون بمثابــة نوع من كبسولة النانو. وسيتم حقــن المريض بمحلول يحتوي على هــذه الجسيمات قبـل الدخول في الماسحــة الضوئيــة. سيسافر مزيج من عوامــل التباين عن طريق الجســم وتعلق نفسها إلى المناطــق المتضررة مثل عضلة القلب للورم. تفتح بعدها كبسولة النانو وتفرج عن الدواء).

سيكون من الممكــن تنشيط الحمولة خارجيا. (إننــا نعمل على تقنيات استخــدام الموجات فوق الصوتية لتهتز الجزيئــات التي تغلق على الورم)، يؤكد سوكيه. وتسبب الاهتزازات انشطارها وتقوم بالإفراج عن الدواء. فإن أي نهج آخر في مجال الطاقة التي تدار من خارج العمل أيضا. والعلاج الدقيــق لهذا النــوع تفتح طرقا جديــدة لمكافحة أمراض مثــل السرطان. في نهايــة اليوم، سيكون استخــدام وكلاء انتقائية أكــثر فعالية من العلاج الكيميائــي الذي لدينا الآن. يمر الدواء في كل أنحاء الجسم، وبالتالي، فإن الآثــار الجانبية تكون على نطاق واسع. سيكــون بمثابة تقدم كبير إذا ما تم الإفراج فقط الأدوية اللازمة في الموقع.

ويقوم هذا النهج الجديد بالجمع بين التشخيص والعلاج في جهاز واحد، مــع تحقيق فوائد كبيرة لدرجة أنه لن يعود عليك الانتظار لتلقي العلاج مرة واحــدة وقــد تم تشخيص حالتك. ويمكن بدء الشفــاء خلال المسح نفسه. (هذا سوف يقلص بشكل مطرد الحــدود بين التشخيص والعلاج)، يقول سوكيــه. فإنه سيتم أيضا زيادة التعقيد والعناصــر العملية الطبية التي كانت

حتى الآن متباعدة وأصبحت متشابكة بشدة. وجميع البيانات ذات الصلة يجب أن تتم معالجتها وتحليلها في الوقت الحقيقي القريب. هذا لن يتطلب اتخاذ التشخيص فحسب، بل أيضا العلاج للخروج من أيدي الأطباء.

3 - الطب الخاص

ليس هنـاك شخصان متشابهـان على حد السواء. بعض الناس لديهم استعـداد لتطوير الربو وراثيا، في حـين أن الآخرين يمكن أن يعيشوا بمرح مـن دون أي آثـار ضارة. الاستعـداد الوراثي يلعب أيضـا دورا مهما في نجاعـة الأدوية والتقـدم في أمراض مثل السرطان وفشـل القلب، ومرض السكـري. الفروق الفردية تجعل عمل الأطباء أكثر صعوبة. فإنه لا يمكنهم أبدا أن يكونوا متأكدين بالضبط كيف يكون الشخص عرضة لمرض معين أو كيف ستكون مدى فعالية دواء معين. يمكن أن نقيس كل أنواع الأشياء، ولكـن ماذا يجب علينا أن نعرف قبل أن نتمكن من التنبؤ بدقة ما إذا كان شخص معـين سوف يمرض؟ جزء مـن الإجابة مخفي في الجينـوم لدينا: العيوب الموروثة والحساسية للأدوية تظهر في الحمض النووي.

خريطة الجينوم البشري ملونة في سرعة قياسية في بداية هذا القرن من قبل اثنين من الفرق البحثية المتنافسة، والتي انتهى بها المطاف إلى نشر نتائجها في وقت واحد في عـام 2001.[1] وقد تم مقارنة إنجازاتها مع الهبوط على

(1) Despite their intense rivalry، Craig Venter and Francis Collins announced the mapping of the human genome jointly، accompanied by then U.S. president Bill Clinton.

سطح القمر الأول واختراع العجلة. ويرأس واحدة من المجموعات المتنافسة الأميركي كريغ فينتر، الذي يواصل نشره نظرية الحمض النووي بحماس.

في البداية، كان فينتر جزءا من حكومة الولايات المتحدة التي ترعى مشروع الجينوم البشري، لكنه ترك الفريق. أسس شركة خاصة لإنشاء قاعدة بيانات للبيانات الجينوم. وقام فينتر بتحليل الحمض النووي الخاص به، وكشف عن أنه يحمل مخاطر متزايدة من إدمان الكحول، ومرض الشريان التاجي، والسمنة، ومرض ألزهايمر، والسلوك المعادي للمجتمع، واضطراب السلوك. برباطة جأش، قال إنه نشر بحماس الجينوم لمجموعته الكاملة على الإنترنت. (هناك الكثير من الناس الخائفون على فحص عينات من الحمض النووي)، كما يقول فينتر. ويضيف (إنهم يعتقدون أنه سيتم الكشف عن كل ما لديهم من أسرار الداخلية. حتى طلاب الطب قلقون حول توريد عينات من الحمض النووي. لكن مسار حياتنا ليس بالطبع محددا وراثيا، بصرف النظر عن الحالات الاستثنائية حيث يتم خفض متوسط العمر المتوقع من قبل حالة وراثية خطيرة).

معظم الناس ليسوا على بينة من آليات خفية من علم الوراثة، بحسب فينتر. (يفكر الناس مثل علماء الثمانينيات. الإمكانيات لتحليل الحمض النووي آنذاك كانت ضئيلة. وكان كل ما يمكن أن تفعله ربط بعض الأمراض إلى أمراض الجينات المعيبة، الهنتنغتون والتليف الكيسي، على سبيل المثال. معظم الناس لا يزالون في تلك الصورة. كانوا يتصورون أنه يتم تحديد كل الخصائص البشرية من جين واحد). وبالتالي، فإن هناك قدرا

كبيرا من الحديث عن جوازات سفر لجميع خرائط جينات الفرد والكشف عن مصيرها. (لكن الأمر ليس بهذه القطعية)، يؤكد فينتر. (واتضح لاحقا أنـه ليست سـوى في حـالات نـادرة أن أي تغيير في جـين واحد يسبب المرض. عـادة ما تكون الأمـور أكثر بكثـير تعقيدا من ذلـك. الاستعداد الوراثي للسرطان ينتج عادة عن طريق تفاعل معقد بين جينات مختلفة. إنها الصدفـة التي تحدد مـا إذا كان يمكنك تطور السرطان. وثمة عيب في جين واحد فقط يزيد هذا الاحتمال. لكن هذه الفكرة لم تصل إلى الجمهور).

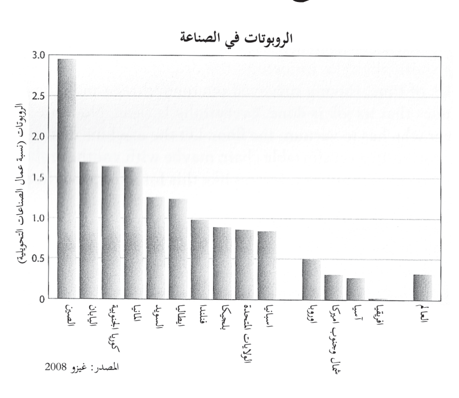
يعطـي فينتر مثالا على ذلـك سرطان القولون، والتنميـة التي تنطوي على قمع ما لا يقل عن 34 جينات مختلفة[1]. ويقول (إننا نعرف عن أحد الجينات التـي تقمع من سرطان القولون: إنهـا تتسبب في خلق الإنزيمات التي تقضي علـى الخلايا السرطانيـة. إذا كان لديك عيب في ذلـك الجين، يكون لديك زيادة احتمال للإصابة بأورام القولون بواسطة منتصف العمر[2]. ولكن هذا الجين هو حلقة واحدة فقط في سلسلة. لذا إذا تبين انك لست ميالا للإصابة بالسرطـان، فهذا لا يعني أن الأمر كان مقدرا لك. العكس هو واضح أيضا: إذا كان هذا الجين غير جيد، هذا لا يعني أنك لا تزال خاليا تماما من المخاطر. قياس الجين يحكي لك شيئا عن مجرد احتمال، إنها مجرد إحصاءات. هذه هي الطريقة التي سنستخدم بها الطب الجيني. إذا كنت تعرف أن مخاطر الإصابة

(1) Much of the network analysis we outline here is based on Goh، K. I.، Cusick، M. E.، Valle، D.، Childs، B.، Vidal، M.، and Barabási، A. L. (2007). The human disease network. Proceedings of the National Academy of Sciences، 104(21)، 8685–8690

(2) Venter talks about the disease known as familial adenomatous polyposis (FAP). It is triggered by a defect in the APC gene

بسرطان القولــون مرتفعة لديك، فلن ننتظر حتى تبلغ الخمسين عاماً لإجراء فحص الأمعاء الخاص الأول. إنها أكثر فعالية من حيث التكلفة لإجراء تنظير القولون في ســن مبكرة، وإذا وجدت شيئا، يمكنــك البدء في العلاج فورا. إذا أجريت العمليــة في المراحل المبكرة من سرطان القولون، فهي أقل تكلفة بكثير، وأقل تغلغلا، وأكثر من المرجح أن تنجح).

يمكــن أن تكون الأنماط الجينية أيضا مفيدة في صقل العلاج. عندما تبدأ الأعراض الأولى بالتعبير عن نفسها، يمكــن للمعلومات الجينية أن تساعد في تحديد أفضل نوع من الدواء، والجرعة الأكثر فعالية، بل واحتمال البقاء علــى قيد الحياة. علــى سبيل المثال، يمكــن التكهن بمدى نجــاح الفرد من المعاملة التي يلقاها المرضى الجدد المصابين بسرطان الثدي. إذا كنت تعتمد على معلومات وراثية، ستكون قادرا على حساب شخص الدواء والجرعة الشخصية. لكثير من الأمراض، هذا لا يزال حلما. ومع ذلك، ينبغي فهم أعمــق من التفاعل المعقد بين الجينــات والبروتينات الموجودة في أجسامنا والتي تسمح بتشخيص وعلاج أكثر تخصيصا.



كشف آليات الرقابة

أعقب السباق لخريطة الجينوم البشري بروز جيل جديد من علماء الوراثة الساعون لكشف الآليات التي تنظم عمليات الحمض النووي الخلوي. التركيز الرئيسي اليوم لم يعد على (الهندسة)، ولكن على الطريقة عمل هذه العمليات والخلل فيها. لا يمكن أن نفهم الحمض النووي من دون فهم الآلاف من مختلف البروتينات التي يخلقها، والتي لكل منها مهمة خاصة لأدائها في الخلية. ويتأثر تنظيم الشبكة المعقدة من البروتينات المتفاعلة، ليس فقط بسبب بنية الحمض النووي ولكن أيضا من خلال إمكانية الحصول عليها نسبيا. الحمض النووي مطوي، ونتيجة لذلك، ليس كل من الشفرة الوراثية نشطة في الجسم. وبالتالي فإن الطريقة التي هو مطوي بها ذات صلة. وهناك العديد من العوامل الأخرى التي تحدد كيفية استخدام المعلومات الجينية في الحمض النووي. هناك مفاتيح الوظائف التي تحول مع أو ضد عملها. هناك مشغلات من الخارج تثير رد الفعل. وفوق كل شيء، هناك تركيبات معقدة من كل هذه العوامل التي تنسق أعمال البروتينات.

تكشف شبكة خلية المراقبة مستويات جديدة من التعقيد مع كل اكتشاف جديد، ويزيد من تعقيد الشبكة التفاعلات بين الحمض النووي والبروتينات. حتى وقت قريب، على سبيل المثال، كان يعتقد أن الجين الفردية يحتوي مخطط للبروتين مصمم لأداء مهمة واحدة محددة داخل الخلية. ومع ذلك، أظهرت البحوث الحديثة أنه يمكن للجينة الواحدة أن تجمع تشكيلة واسعة من البروتينات المختلفة، وتحول طريقة عملها ردا

على مدخلات من محيطه. وهذا يعني أن نفس الجين يمكنه تنظيم الوظائف الخلويـة المختلفة بالتعبـير عن مختلف البروتينات. أكـثر من 70 في المئة من الجينات التي تشكل الحمض النووي البشري عرضة لهذا التنوع، والبعض حتى قادرة على إنتاج آلاف من البروتينات المختلفة[1].

على الرغم من كل هذا التعقيد، تبيّن أن شبكة البروتين للحمض النووي يمكنهـا أن تكون مستقرة بشكل لا يصـدق. العديد من البروتينات تلعب سـوى دور ثانوي في تنظيم الخلايا. وتحتفـظ الشبكة باستقرارها حتى لو كان هناك أنواع قليلة من البروتين مفقودة[2]. ونحن نعرف الآن أن بعض أنـواع البروتينات الأخرى يمكن أن تحـل جزئيا مكان الوظائف المفقودة، مما يتيح للكائن ككل البقاء.

استقـرار الأنظمة الخلوية واضح أيضـا في التغيرات الطبيعية التي تحدث داخل الأنـواع. وكان هذا نتيجة أخرى رائدة حصلت عليها كريغ فينتر، وهـذه المـرة في عام 2007 عندمـا كان أول من تسلســل كلا من اللوالب حبـلا الحمض النووي البشري (مرة أخـرى، في بلده)[3]. الحلزون الأول

---

(1) Kim، E.، Goren، A.، and Ast، G. (2008). Alternative splicing: Current perspectives. BioEssays، 30(1)، 38–47.

(2) The key point here is that proteins are knocked out at random، which means there is a high probability that the small number of proteins that play a pivotal role in the cell will be spared. See Nacher، J. C.، and Akutsu، T. (2007). Recent progress on the analysis of power–law features in complex cellular networks. Cell Biochemistry and Biophysics، 49(1) 37–47; Jeong، H.، Mason، S.، Barabási، A. L.، and Oltvai، Z. N. (2001). Lethality and centrality of protein networks. Nature، 411(11)، pp. 41–42.

(3) Levy، S.، Sutton G.، Ng، P. C.، Feuk L.، Halpern A. L.، et al. (2007) The diploid genome sequence of an individual human. PLoS Biology، 5(10)، e254، 2113–2114.

يحتـوي على المعلومـات ورثت من والدتـه، والثاني مـن المعلومات من والــده. وكشف تحليل الحمض النووي الجزئي لفينتر بأن ما لا يقل عن 44 في المئة من الجينات من الأم تختلف عن تلك التي من والده.

استقرار سيطرة الخلايا له ثمن. تلعب بروتينات معينة دورا محوريا في تحقيق الاستقـرار في اتصالهم العديد من الإجراءات المختلفة والحفاظ على التوازن العــام. بدونها، سوف تكون شبكة الخلية التنظيمية. مجزأة قد يمكن استغلال هــذه المعرفة في علاجات السرطان. متانة العرفي للشبكة التنظيمية تجعل من الصعــب قتل الخلايا السرطانية مــع الأدوية التي تعطل مجرد ضوابط الخلوية. ومع ذلك، يمكن لهذه المخدرات التي تستهدف كعبا أخيل تنظيم الخلايا مع قــوة كافية أن تكــون قادرة على القيام بذلك. نحــن الآن فقط في بداية فهم آليات تحقيق الاستقــرار في العمل داخل الخلايا. إذا استطعنا اكتشاف كيف يمكن لنظام أن ينحرف عن مسارها، مما أثار السرطان أو أي مرض آخر، فإننا سنكون أكثر قدرة على التنبؤ قابلية المريض للأمراض المختلفة. وهذا قد يقدم أيضا أدلــة على الأدوية الجديدة التي تستهدف نقــاط ضعف الخلايا. يمكننا التعلم من خلال المقارنة مع غيرها من الشبكات الديناميكية غير الخطية إبطاء الانحرافات قبل أن تصبح الشبكة التنظيمية غير مستقرة.

هــذه الأفكار هي ثمار كمية هائلة من البحث من قبل العديد من العلماء بعد رسم الخرائط الأولية للجينوم البشري عن طريق كريج فينتر ومنافسيه. وتحقيــق مزيد من التقدم يتوقف على مهــارات الرياضيين الذين يجب أن نعمل الآن في طريقهم من خلال غيغابايت من البيانات الجينية. بعض من هــذا يأتي من المحفوظات الطبية التي واجهناهــا أيضا في الفصل السابق.

وقد تم تخزين المواد الوراثية من مرضى السرطان بشكل منهجي وعلى نطاق واسع منذ عقود مع تفاصيل عن التقدم من المرض وفعالية العلاج. العامل المحدد في هذا النوع من البحوث هي قوة المعالجة الهائلة اللازمة لجمع كل المعلومات التاريخية مع البيانات الجزيئية ذات الصلة.

وتحقيق تجهيز القوة سيشكل تحديا تقنيا كبيرا ولكن وحده يمكن أن يوفر انفراج في دمج هذا الكم الهائل من المعلومات الجينية وتاريخ القضية. عامل آخر يحد في هذه المرحلة هو أن قدرا كبيرا من البحوث يعتمد على تسلسل الحمض النووي، التي لا تزال عملية مكلفة. ستكون هناك حاجة لبيانات الحمض النووي وهناك الكثير قبل أن نتمكن من كشف النظام التنظيمي للخلية. يتوقع فينتر أن تكلفة تحليل الحمض النووي سوف تقع بسرعة وتسلسل الحمض النووي سيصبح واضحا على نحو متزايد. (استغرق الأمر مني 9 أشهر لرسم خريطة الجينوم الخاص بي. إذا كنا نريد حقا استخدام البيانات الوراثية الطبية، يجب أن تكون لنا القدرة على تحديد تسلسل الجينوم البشري في غضون ساعات أو حتى دقائق وبتكلفة أقل من ألف دولار. في هذا النوع من الأسعار، سوف نكون قادرين على النظر في الكثير من المرضى ومن ثم بناء قواعد بيانات للمعلومات الطبية التي من شأنها أن تولد كتلة من بيانات هامة للبحث العلمي، والتي سوف تسريع مزيد من التقدم).

خلق الحياة إعادة

وفي غضون ذلك، شرع كريغ فينتر بالعمل على المشروع الجديد. إنه يريد خلق الحمض النووي الجديد بهدف إعادة برمجة الحياة. (في

كل كـوب من ميـاه البحر أو ليتر مـن الهواء الذي ندرس، نجد البكتيريا والفيروسـات الجديـدة مع خصائص جديـدة. يمكننا تطبيق هـذه المعرفة لجعـل أشـكال جديدة للحيـاة. بنفس الطريقـة التي يمكنـك استخدامها للترانزستـورات، المقاومات والمكثفات وعلى بذل كل نوع يمكن تصوره مـن الدوائر الإلكترونية، مع الحق في الجمع بين خصائص بكتيرية، عليك أن تكـون قادرا على القيام بأي عملية كيميائية. كم سيكون الأمر رائعا لو كان لديك كائن حي يمكنه أن يستخلص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وتحويله إلى البوليمـرات؟ أو البكتيريا التي تستخدم أشعة الشمس لاستخـراج الهيدروجين من الماء؟ عالم الوراثية يقـدم الملايين من اللبنات التي يمكنك استخدامها لبناء عقارات من هذا القبيل).

في عـام 2008، حقق فينتر معلما جديدا في سبـاق لكشف أسرار الحياة عندما قام بتوليف جينوم كاملة من الصفر للمرة الأولى. انه مدمن الجزيئات معـا لإنتاج نسخة مطابقة من الحمض النووي لبكتيريا المفطورة التناسلية، والتي تسبب أعراض مشابهة لأعراض مرض السيلان في البشر.

في ذلك الوقت، كانت الأنواع مع أقل عدد من الجينات المعروفة آنذاك لاستمـرار الحياة. يعني أنـه كان على فينتر الاتصال فقط بـ 582970 قاعدة لـلأزواج لينسخ جيناته الـ 521. كإجراء وقائـي، قام بحذف الجينات في البكتيريا المسببة للأمراض.

(إن الخطـوة القادمة هي بنـاء الحمض النووي في الخليـة)، يقول فينتر. (إنهـا قليلا مثل تغيير النظام الذي يحل محل الكمبيوتر مع برنامج التشغيل ويندوز ماك. بهذه الطريقـة، سوف ننتقل تدريجيا مـن قراءة المعلومات

الوراثيـة لنكون قادريـن على كتابتها وتنفيذهـا). وأشيد بهذا النجاح في مايو 2010 في حياة الاصطناعي الأول، ولكن فينتر يشدد على أن هذا لن يصل إلى خلق الحياة من لا شيء. (أنا فقط أكرر أنماط الجينات التي نعرف، وأنا لا أخلق جينات جديدة. ولكن في نهاية المطاف سنكون قادرين على إعادة الحيـاة نفسها. الاستنساخ هو سمة أساسيـة في أي تعريف للحياة، والجزيئات التي يمكن أن تنسخ نفسها هي خطوة أخرى على طول الطريق نحو محاكاة الحياة).

يخطط كريغ فينتر الآن لاتخاذ المعلومات الجينية الموجودة واستخدامها في تركيبـات جديـدة. إنه لا يحمـل إلى الـوراء عندما يصـف رؤيته من حيـث إنـه يتوقع أن يؤدي هذا إلى: (ستكون هنـاك حاجة إلى تحويل تماما هـذه الصناعة في السنوات الـ 10 أو ال 15 المقبلة. عليك أن تكون قادرا علـى الجلوس على جهاز الكمبيوتـر الخاص بك وتقرر ما هي التفاعلات الكيميائيـة التي تريدها. سيقوم الكمبيوتر بالبحث عن الحق في الجمع بين الخصائص الوراثية والكتابة للكروموسوم التي تحتاج إليها. عليك إدراجه في خليـة ما وعليك أن تكـون قادرا على استخـدام البكتيريا لأي غرض يمكن أن يخطر لك. إنها سوف تغير تماما ما نقوم به على هذا الكوكب).

قد تتحقق رؤية فينتر يوماً ما، ولكن خلق أشكال جديدة حقيقية للحياة سوف يستغرق أكثر من مجرد الجمع بين اللبنات القياسية. مرة واحدة وقد فاز في السباق لإنتاج أول خلية حية اصطناعية، سوف تكون هناك حاجة إلى قدر كبير من الأبحاث لاكتشاف كيفية خلق أشكال غير معروفة حتى الآن مـن الحياة. سوف نحتاج لمعرفة كيف تنشأ خصائص الكائنات الحية

من تفاعل معقد من الآليات التنظيمية. وسوف تكون لنا القدرة على خلق حياة مفيدة وقابلة للحياة عندما نفهم تماما كيف يعمل. ومن المؤكد أن هذه المعرفة ستعمّق البصيرة في النماذج الموجودة للتشخيص والعلاج.

ولقد أثّر الحمض النووي وآليات الرقابة الخلوية بالفعل بعمق العلاج الطبي. الاختبارات الجينية التنبؤية متاحة الآن للعديد من الحالات. بالنسبة للبعض منهم، هناك تدخلات فعالة متاحة للحد من المخاطر. وهذا يجعل من الممكن ضبط العلاج الطبي للخصائص الشخصية للمريض. هذه هي البداية فقط، والأسعار لتسلسل الحمض النووي لا تزال آخذة في الانخفاض بسرعة. ربما يوما ما فهمنا أن تكون كاملة بحيث لا يمكننا إلا شفاء الأمراض، ولكن على نحو فعال أيضا إعادة خلق الحياة. من المرجح أن يكون كريغ فينتر تقاعد بحلول ذلك الوقت، على الرغم من أنه يمكنك أن تراهن أنك ستجده هناك على يخته، الساحر الثاني، لبضع سنوات جيدة بعد ذلك.

4 - نستعد لمواجهة الأوبئة

تمت كتابة المسودة الأولى من هذا الفصل حتى قبل إطلاق الإنذار بجائحة الإنفلونزا لعام 2009. منذ ذلك الحين، كانت مصطلحات مثل إنفلونزا الخنازير والإنفلونزا المكسيكية تتصدر باستمرار عناوين الصحف. شهدنا أول ظهور للمرض في جميع أنحاء العالم حقا من سلالة الإنفلونزا الجديدة. ذهبت الأحداث أسرع مما كنا نتوقع في نصنا الأصلي.

وقــد بدأنا في الفصل مع سيناريو وهمي للفاشيــة في عام 2013 وليس في المكسيــك ولكن في جاوة الشرقية، إندونيسيا، مدينة مالانغ. لم يكن ذلك يعنــي في الحقيقة باعتبارها تنبؤ، ولكن مجرد قصــة صغيرة لإظهار النتائج المترتبة على انتشار المرض. أردنا أن نظهر كيف قد يكون مدى اضطراب انــدلاع مرض جديد. وصفنا كل الأشياء التــي نحن الآن على دراية بها: الأطبــاء الذيــن ليسوا قلقــين ولا سيمــا في بداية، والناس الذيــن يعيشون بالقرب مــن حيواناتهم ويلتقطون الفيروســات؛ المرضى في المستشفيات مــع ارتفاع في درجة الحرارة والسعال الحــاد، وشركات الأدوية الحريصة على تجول كلفة اللقاحات.

ثم اخترعنا بعضــ الصراع بين السلطــات الإندونيسية ومنظمة الصحة العالمية حول عينات الدم. ويعكس الأمر إحجام الدول النامية إلى التعاون في إنتــاج لقاحــات لا يمكن أبدا تحملها[1]. في قصتنــا، تجاهلت بقية العالم هــذه الفاشية الوهمية وكانت غافلة عن ارتفــاع عدد القتلى والمشاحنات الدبلوماسيــة. هذا مثل بدايــة 2009 حيث إن حــالات الإنفلونزا سكنت القرى المكسيكية ربما لأسابيع كثيرة من دون أن يبلّغ عنها. في قصتنا، كسر حاجز الصمت عندما توفيت ممرضتين في بيرث بأستراليا. استولت وسائل الإعــلام على الفــور على قصة مع عناويــن صارخــة. في الأسبوع الذي أعقب ذلك، أفيد عــن عشرات الحالات جديدة في إندونيسيا، وأستراليا، وسنغافورة، إلى جانب الحالة الأولى المشتبه بها في نيويورك.

(1) See Bird flu deal hangs in the balance. New Scientist (November 17، 2007).

ثــم هناك بعــد كل الرتابة الصحية التــي نحن الآن علــى دراية بها الآن ومتآلفــين معها حتى أقصى الحدود. وقد حصلــت منظمة الصحة العالمية على عقد من فيروس الإنفلونــزا، وتستعد حالياً لإنتاج لقاح جديد. ومع ذلــك، فإن الوباء ينتشر مثل بقعة الزيت الناجمة عن الفيروس الذي ضرب مدينة واحدة كبيرة بعد الأخرى. والتغيير المضاد للفيروسات موجود على الإنترنــت مقابل مبالغ ضخمة على الرغم من تحذيرات الأطباء أن الأدوية تعمل فقط إذا ما تم إعطاؤها في غضون ساعات قليلة من العدوى. حذرت منظمة الصحة العالمية إن الأمر سيستغرق أكثر من عام ونصف العام لإنتاج لقاح من شأنه أن وقف انتشار هذا الوباء.

كان هناك، ومع ذلك، فارق واحد مهم بين قصتنا ووباء 2009. وكان لدينا فيروســ أشد فتكا. كان لدينا السلالة القاتلة من فيروس إنفلونزا الطيور الذي أصبح معديا في البشر. المرضــى المخترعون في مستشفى مالانغ ماتوا بسرعة جميعا من الحمى والسعال. وكان فيروس الخنازير المكسيكي غير ضار نسبيا. وكانــت الفاشيات السابقة أكثر فتكا. تفشــت الإنفلونزا الاسبانية العالمية في عام 1918 بتكلفة تتراوح بين 50 و 100 مليون نسمة[1]، ونسبة تفوق بكثير الـ 15 مليون شخص الذين لقوا حتفهم في الحرب العالمية الأولى في وباء إنفلونزا 1830 الــذي لم يكــن أقل فتــكا. والأحداث في عــام 2009 تكشفت بطريقة

(1) Johnson، N.، and Mueller، J. (2002). Updating the accounts: Global mortality of the 1918–1920 “Spanish” infl uenza pandemic. Bulletin of the History of Medicine، 76(1)، 105–115. For a dramatized account، see Barry، J. M. (2004). The great influenza: The story of the deadliest pandemic in history. New York: Penguin

مختلفة تماما إذا كان الفيروس قاتلا مثل سلالة عام 1918.

ولقد تعطلت بنيتنا التحتية العالمية. تخيل، على سبيل المثال، ماذا قد يفعل سائقو الشاحنات بعد قتل زميل لهم. فإن معظمهم يختارون البقاء في المنزل. نتيجة لذلك، لا يعود ممكناً للمستشفيات أن تعتمد على إمدادات من الأوكسجين يوميا أو الأدوية. وقد أدت كفاءة عالية، والخدمات اللوجستية فقط في السنوات الأخيرة إلى مخزونات منخفضة للغاية، وتركت المستشفيات عرضة للأوبئة للغاية. وبدأ التيار الكهربائي أيضا في الاهتزاز؛ وقد شجع مديرو محطات الطاقة م الفنيين لتحويل ما يصل إلى العمل، لكن الكثير منها سيكون يخشون مغادرة منازلهم. وفي الوقت نفسه، فإن بعض البلدان قد تقوم بإغلاق حدودها.

رد الفعل هذا مفهوم، لكنه يؤدي إلى مزيد من الاضطرابات. على سبيل المثال، يتم تصنيع 85 في المئة من الأدوية الأميركية في الخارج[1]. هناك ما يكفي من النفط لمدة آخر 6 أسابيع فقط[2]. لقد ولت الأيام التي كان فيها المجتمع قد عزل نفسه عن العالم الخارجي. فإن انهيار النظم اللوجستية يؤثر أيضا على إنتاج لقاحات. التسهيلات هي نفسها التي تنتج (طبيعية) لقاح إنفلونزا وتدار معظمها في خريف العام إلى نحو 350 مليون شخص في كل أنحاء العالم[3]. ويزرع هذا الفيروس في اللقاح البيض المحتوي،

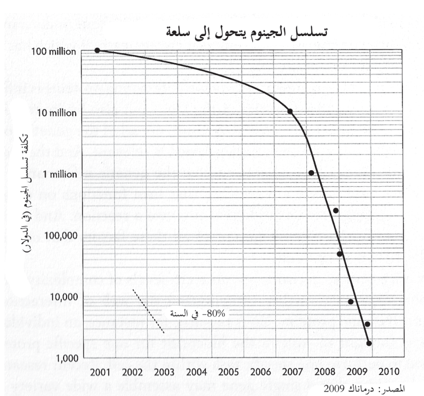
(1) Debora MacKenzie، Will a pandemic bring down civilization? New Scientist (April 5، 2008).

(2) See http://vermeer.net/can

(3) The Macroepidemiology of Influenza Vaccination (MIV) Study Group. (2005). The macroepidemiology of influenza vaccination in 56 countries، 1997–2003. Vaccine، 23، 5133–5143.

التي تتطلب نحو 350 مليون بيضة مخصبة[1].

في جميع أنحاء العالم، تنتج حوالي 6 مليارات بيضة سنويا[2]، لذلك هناك الكثير من المواد الخام اللازمة لإنتاج اللقاحات. البيانات التي تم إصدارها قبل بضعة أشهر من 2009 تظهر إمكانية أن يمتد الإنتاج إلى 2.5 مليار جرعة سنويا، وبالتالي فان الأمر سيستغرق 4 سنوات لتلبية الطلب العالمي من جرعتين للشخص الواحد. ومن المتوقع أن تزيد هذه القدرة مع عامل 2–6 حتى عام 2015، ولكن حتى ذلك الحين، إن الأمر سيستغرق سنة 1 أو 2 لإنتاج جميع اللقاحات[3]. ومن الناحية المثالية، هذا هو المطلوب. عندما يكون نظام النقل هو فوق طاقتها، سوف نحتاج إلى مزيد من الوقت. وربما يكون الدجاج عرضة للفيروس الإنفلونزا نفسها، لذلك لا تعود موثوقية الإمدادات من البيض متوفرة.



(1) See http://vermeer.net/cap
(2) FAOSTAT 2007، http://faostat.fao.org
(3) According to a study by Oliver Wyman، a consulting fi rm، together with the WHO. Press release (February 23، 2009)، http://vermeer.net/caq

اللقاحات الجديدة

يتطور فيروس الإنفلونزا بسرعة، وهذا هو السبب في أنه قادر على الضرب مرة أخرى كل شتاء. بالنسبة للجزء الأكبر، فإن النتائج ليست مثيرة على نحو غير ملائم. معظم الناس لديهم الأجسام المضادة التي خلفتها مواسم الإنفلونزا السابقة التي لا تزال تقدم بعض الحماية ضد أحدث طفرات من فيروسات الإنفلونزا الموسمية. ومع ذلك، في عام 2009، ظهرت سلالة جديدة تماما من الفيروس انتقلت بسرعة من الحيوانات إلى البشر. ليس لدينا على الإطلاق أي مقاومة لسلالة جديدة من هذا القبيل، والنتيجة هي وباء.

لا نستطيع أن نقول كيف يحتمل أي حال مثل هذا أن يحدث. كل ما نعرفه هو أن هناك سبعة أوبئة من الإنفلونزا الكبرى في القرنين الماضيين. لعل الوباء القادم قد يضرب في العام المقبل أو في وقت لاحق. وربما أنها لن تبدأ في المكسيك ولكن في الصين أو فيتنام. هناك أماكن كثيرة في آسيا، حيث يعيش الناس والحيوانات في المنطقة القريبة. الشيء المخيف هو أنه في مثل هذه الظروف، تستمر فيروسات الإنفلونزا الجديدة في الظهور. لا توجد وسيلة للتأثير على الخزانات الطبيعية حيث تتكاثر الفيروسات وتتحور. ويمكن لأي وباء الإنفلونزا الجديدة أن يقتل مئات الملايين من الناس، ويقلب البنى التحتية العالمية، ويعيد الاقتصاد العالمي إلى طريق مسدود. وقد يضع حد لتصور للحضارة الحديث.

ديفيد فيدسون هو واحد من الناس الذين يحذرون من حدوث كارثة الإنفلونزا العالمي. وقد خصص الأستاذ السابق في الطب في جامعة

فيرجينيا والمدير الطبي المتقاعد لافنتيس باستور في فرنسا، حياته المهنية للأبحاث عن التطعيم ضد الإنفلونزا. وهو يعيش الآن في منزل 350 عاما في سيرجي – أوت، وهي قرية صغيرة بالقرب من المدينة الفرنسية الصغيرة جنيف، سويسرا. ويدلّ مظهره الودي أنه يحذر للتيقظ أن وباء إنفلونزا كارثي قد يضرب أي لحظة. ما الاستعدادات التي بذلها في قريته الجبلية لحماية عائلته ضد أي وباء من هذا القبيل؟ (أنا لم أفعل ذلك)، كما يعترف. ويضيف (إذا كان لي أي دواء مضاد للفيروسات، فإنه قد لا يكون كافيا ربما لتوزيعها بين جميع الناس في القرية. ماذا أفعل إذا كان أطفال جيراني يموتون؟ أنا لا يمكن أن أتعايش مع فكرة إبقاء كل شيء لنفسي).

لم يفعل جميع زملائه الأمر نفسه. في عينة من الخبراء خلال وباء إنفلونزا عام 2009، اعترف نصفهم من أنهم قد اتخذوا الاحتياطات اللازمة مثل الحصول على إمدادات من التاميفلو لأسرهم. قالوا إنهم قلقون من أن المستشفيات المحلية لا يمكنهم التعامل مع الحالة في حال ظهور وباء ما[1].

(هذا ليس شيئا يمكنك تحضيره على المستوى الشخصي)، يقول ديفيد فيدسون. (إنها حكوماتنا التي ينبغي أن تكون مستعدة، لكنها ليست كذلك. في مواجهة وباء شديد، سنكون في حاجة إلى مليارات الجرعات من اللقاح، وكنا بحاجة لإنتاجها بسرعة. ولكن إذا كانت جائحة جديدة للخروج غدا، سنكون على الأرجح عاجزين). ويظهر وباء إنفلونزا

(1) Swine flu: How experts are preparing their families. New Scientist (August 12، 2009)، issue 2721

الخنازير 2009 هذا بشكل واضح، بحسب فيدسون. (لم تكن الكارثة شديدة، وهو أمر جيد. ولكن الأحداث تبين عدم قدرة المجتمع الدولي على العمل معا في مواجهة تهديد الصحة العامة. لم تكن جميع البيانات واثقة من أن مسؤولي الصحة قادرون على الاستجابة بفعالية. وقد أثر الأمر تماما على قدرتنا على كشف بسرعة ظهور فيروس الجائحة التي سيخرج بها في المكسيك. لدينا نظام لمراقبة الفيروس في الخنازير ميؤوس برغم وجود أدلة من الفيروسات التي تعود إلى أواخر عام 1990، بيد أن فيروس الوباء الجديد قد يظهر في الخنازير. لقد استمرت شركات اللقاح في العالم والهيئات التنظيمية باستخدام 40 عاما لاندماج تلك التقنيات الجينية لجعل سلالات لإنتاج اللقاحات. هذا الأمر شاق أكثر بكثير من استخدام الهندسة الوراثية المعكوسة. وقد رأينا أن عملية صنع اللقاحات صعبة لتسريع وتوسيع نطاقها. الإنتاج يأخذ ما لا يقل عن 9 أشهر. بحلول الوقت الذي تنتهي، تريد أن تكون فقط قادر على تلقيح الناجين. نحن في حاجة إلى الإنجاز العلمي من أجل تسريع الأمور. إذا كان الفيروس قد تحور، سوف تصبح الأمور أكثر ضراوة، لأننا وجدنا أنفسنا في مأزق رهيب).

(هناك عدة خطوات يمكن اتخاذها لأننا نعد أنفسنا بشكل أفضل. أقل ما يجب القيام به هو النظر في إستراتيجيات لإنتاج المزيد من الجرعات من كميات صغيرة من فيروس اللقاح. ويمكن أن نضيف مواد كيميائية تسمى المواد المساعدة التي من شأنها تعزيز الاستجابة للقاح. وأوضحت الأبحاث أن هذا يمكن أن يقلل من المبلغ المطلوب من الفيروس في كل

جرعة إلى عشر واحد فقط من المبلغ الحالي). (هذه التقنيات كانت متوافرة أثناء اندلاع فيروس 2009، يلاحظ فيدسون، ولكن السلطات التنظيمية في البلدان المنتجة للقاح لم تسمح بالاستفادة منها. (هذا الرفض يحد من عدد الجرعات التي سوف تصبح متاحة، مما يعني أن العديد من الدول لن تكون قادرة على الحصول على إمداداتها من اللقاحات المضادة للجائحة. هل أنت حقا تقلل من كمية المستضدات في لقاح إلى أقل جرعة ممكنة من أجل حماية الناس بأكبر عدد ممكن).

قد تكون هناك أيضا سبل خفض الجرعة إلى أبعد من ذلك، يضيف فيدسون. (ربما اللقاح الناتج يكون أقل فعالية من وجهة نظر الفرد، ولكن يجب أن تكون قادرا على تلقيح عدد أكبر من الناس، وقادرا على تحقيق نسبة أعلى من الحماية للسكان ككل. إنها فكرة مثيرة للجدل، لأنها تضع حماية السكان فوق صحة الفرد، وأنها لم تكن خضعت لاختبارات صارمة. ولكن نحن بحاجة إلى النظر فيه وإلى مزيد من الدراسة. قد لا تعطينا جرعات كافية لشعوب بأكملها، ولكن من المحتمل أنها ستقدم لنا ما يكفي من الجرعات لتطعيم العمال الذين ينتقدون في الحفاظ على البنية التحتية الاجتماعية قبل أن تتعرض للتوقف. إذا تم تلقيحهم، يمكن للأشخاص على الأقل أن يكونوا على ثقة بأن مجتمعاتهم لن تنهار).

ومع ذلك، الحماية الكافية لنسبة أكبر من السكان سوف تتطلب تطوير لقاحات جديدة، يعتقد فيدسون. ويضيف (ربما يمكننا استخدام فيروسات حية موهنة بدلا من تلك التي نستخدمها الآن للقاحات الإنفلونزا. لقد ظهر الأمر بوضوح في المختبر لتقديم حماية واسعة للفئران وقوارض.

الميـزة هي إن كنت بحاجة فقـط لجرعة واحدة للشخصـ الواحد، يمكن أن يـدار الأمر عبر قطرات الأنف، وأنك لن تضطر إلى استخدام المحاقن. هـل يمكن أن تنتج العديـد من جرعات اللقاح في غضـون أشهر قليلة في المرافـق الحالية لإنتاج لقاحـات الإنفلونزا المعطلة للإنسـان أو الحيوان). هناك أفكار أخرى جديدة أيضا. (أحد الاحتمالات هو أن تنتج الجزيئات التي تشبه فيروس الإنفلونـزا. تكنولوجيا الهندسة الحيوية موجودة للقيام بذلك، لكنها تحتاج إلى مزيد من التطوير).

وهـذه المناهج الجديدة تسبب تعطيل جـذري في الأعمال التجارية من الشـركات الكبـيرة للقاح ورعاتها، يلاحـظ فيدسـون. (إن التكنولوجيا لإنتاج البيض مقرها لقاحات الإنفلونزا المعطل ينبع من عام 1950، وحقا لم يتغير الأمر كثيرا منذ ذلك الحين. حتى وقت قريب، كان هناك سبب وجيه للقيام بذلـك. إنها كانت كافية تماما لإنتاج لقاحـات الإنفلونزا الموسمية التـي نحصـل عليها من كل عـام. في العقد الماضـي، استثمرت مليارات الدولارات في شركات لقاح توسيع الطاقة الإنتاجية مع هذه التكنولوجيا الكلاسيكيـة. وسوف يستغرق عدة سنوات لاستكمال المشاريع التي هي الآن قيـد التنفيذ. وبالتالي، لا تملك تكنولوجيـات الإنتاج البديلة لأنواع جديدة مـن اللقاحات وعمليا أي فرصة لاعتمادهـا، على الأقل ليس في المستقبل القريب).

هـذه الموجـات الجديدة من الاستثمـارات لا تذهب فقـط في النباتات الكلاسيكيـة القائمة علـى البيض ولكن أيضا في تقنيـات الإنتاج الحديثة التـي تستخدم ثقافة الخلية، الأمر الذي يجعل من إنتاج اللقاحات مستقلة

البيض، وهو أيضا أسهل للتصعيد. ولكنها لن تسرع الوقت اللازم لإنتاج نفسها. لذا فإنه ليس من الكثير من التحسن.

عامل آخر هو الدرجة العالية من التخصص للأشخاص الذين شاركوا في إنتاج اللقاحات. (إنها مجموعة صغيرة ونخبة من العلماء وصانعي السياسات، ومديري الشركة الذين يعرفون فقط اللقاحات المضادة للفيروسات)، يؤكد فيدسون. ويضيف (هذا يجعل من الصعب عليها أن تنظر في البدائل).

دع الفقراء يعيشون

نحن لا تتقاعس فقط من حيث إنتاج اللقاحات؛ البرنامج الضخم يحتاج أيضا إلى أن تكون المنشأة لتوزيع وإدارة تلك اللقاحات لمجموعات سكانية مختلفة. سيكون الأمر صعبا للغاية في الدول النامية، يتخوّف فيدسون، وذلك لأن مجرد تسعة بلدان تنتج تقريبا جميع اللقاحات المضادة للإنفلونزا، وتقع كل منها في العالم المتقدم. (البلدان غير المنتجة ستضطر لاستيراد كل ما لديهم اللقاحات[1]. إلا أن البلدان المنتجة ستقوم بتلقيح سكانها أولا. ولن تستورد لقاح الوباء من خارج البلاد. لذلك سوف يحصل السكان الذين يعيشون في البلدان التي ليس لديها من اللقاحات الخاصة، وهذا أكثر من

(1) More than 95 percent of the world's seasonal influenza vaccine is produced in Australia، Canada، France، Germany، Italy، Japan، the Netherlands، the United Kingdom، and the United States. Smaller production facilities are located in Hungary، New Zealand، Romania، and Russia. Fedson، personal communication.

85 في المئة في العالم، على احتمال ضئيل من التطعيم. التطعيم العالمي يتطلب هذه الدرجة من المنظمة الدولية التي لم تطرح حتى الآن).

لهـذه المسألة، فإنه سيكون من الصعب للغايـة تزويد العالم مع الحقن بما فيـه الكفاية للتعامل مع الوباء التطعيم. وسنكـون في حاجة المليارات من المحاقن. عن الولايات المتحدة وحدها، ستكون في حاجة إلى 600 مليون إضافيـة لإدارة جرعتين لسكانهـا 300 مليون، والـذي سيستغرق سنتان لإنتاجه[1].

(البرامج القائمة للتطعيم ومعالجـة فيروسات الوباء ليس لديها ما تقدمه للناس في البلدان المنخفضة والمتوسطة الدخل. نتيجة لذلك، سوف يعيش الأغنيـاء، وسوف يموت الفقراء، والجـروح في المجتمع العالمي في أعقاب وبـاء يمكن أن تلتهب على مدى عقود)، يقول فيدسون بصراحة. الصمت في وسائل الإعلام خلال وباء 2009 يوضح هذه النقطة. (لقد دفعت تقارير إخباريـة عموما القليل من الاهتمام للبلـدان التي حصلت على أي لقاح. أنهم لم يطرحوا الأسئلة الأساسية حول هذا الجزء من عالم المحرومين. هذا لأن هذه الـدول لا تستطيع تحمل ذلك؟ لأنهم لم يكونوا سريعين بما يكفي لأجل ذلك، أنهـم الآن في نهاية قائمة الانتظار؟ هل تعتقد هذه الدول أن تأثـير إنفلونزا الخنازير لن يكون قاسيا ومدمـرا؟ لم نسمع من هذه الدول، والصمت يعكس افتقارنا الشامـل من منظور عالمي مفصل بشأن ما يقوم

(1) Data from BD Medical Surgical Systems، 2007، cited in McKenna، M. (2007). The pandemic vaccine puzzle. CIDRAP. www.cidrap.umn.edu

بـه المرض في جميع أنحاء العالم. قد لا يكـون هناك الملايين من الضحايا، ولكـن لا يزال عـدد القتلى في تلك البلدان هو علـى الأرجح أعلى بكثير مما كانت عليـه في وباء الإنفلونزا العادي. حقيقـة أن أكثر الملايين عرضة للإصابة بالعدوى يعني أن عدد الوفيات ربما يكون في ارتفاع. هذا يطرح مسألة كيف سنتصرف عندما يكون هناك تفشي مع معدل إماتة عال حقا).

نحـن لا نملك الوسائل اللازمة لمكافحة وباء عالميا. الأفكار المقبولة عموما حـول كيفية مواجهة الوبـاء القادم تعتمد في معظمها علـى التكنولوجيات الموجـودة ومركزية إنتاج اللقاحات. حتى الآن لا يمكن لتكنولوجيا مركزية معقدة مواجهة التحديات التي يفرضها الوباء. لدينا حاليا من أعلى إلى أسفل منهجية بطيئة ومعقدة، وصعبة التنظيم والإدارة، وهذا هو فصيل من المسائل الأساسية. إنه يعبر عن سوء فهم ما هو مطلوب. بدلا من ذلك، نحن بحاجة لتحديـد التقنيات التي يمكننـا تقاسمها مع الدول النامية. نحن في حاجة إلى نهـج من أسفل إلى أعلى على أساس الناس العاديين والنظم القائمة في مجال الرعايـة الصحية، وهـو أن تقوم على إمـدادات وفيرة مـن الأدوية الجنسية الرخيصة التي ستكون متاحة في جميع أنحاء العالم في يوم واحد من وباء[1].

(1) Fedson، D. S. (2008). Confronting an infl uenza pandemic with inexpensive generic agents: Can it be done? Lancet Infectious Diseases، 8(9)، 571–576; Fedson، D. S. (2009). Confronting the next influenza pandemic with anti–inflammatory and immunomodulatory agents: Why they are needed and how they might work. Influenza and Other Respiratory Viruses، 3(4)، 129–142; Fedson، D. S. (2009). Meeting the challenge of infl uenza pandemic preparedness in developing countries. Emerging Infectious Diseases، 15(3)، 365–371.

الستاتين والألياف من المرشحين الجيدة، يعتقد فيدسون[1]. فإنها لا تعمل من خلال التصدي للفيروس ولكن عن طريق حشد استجابة المضيف للعدوى. (وهي تستخدم كوقاء للمرضى المعرضين لخطر النوبات القلبية وقصور القلب الاحتقاني، والسكتات الدماغية ولعلاج المرضى الذين يعانون من مرض السكري. وترتبط الإنفلونزا مع هذه الأحداث، والدراسات السريرية والمختبرية تشير إلى أن هذه العوامل يمكن أن تقلل من المستشفيات والوفيات أثناء حدوث وباء الإنفلونزا. وعلاوة على ذلك، فهي غير مكلفة، وبالفعل يتم إنتاجها في البلدان النامية. لأنها قد لا تكون الحل النهائي لمواجهة وباء الإنفلونزا، ولكن أعتقد أنها توفر الإستراتيجية الوحيدة الممكنة للحد من الضرر على نطاق عالمي حقا).

إرخاء الشبكة

اللامركزية هي الرد الواقعي الوحيد على انهيار البنية التحتية العالمية والارتفاع الكبير في الأنانية القومية. هذا ليس صحيحا فقط لإنتاج الأدوية، بل أيضا عنصر أساسي في بقاء أجزاء أخرى كثيرة من شبكاتنا الدولية متشابكة بإحكام. ازداد الترابط في جميع أنحاء العالم إلى حد الوصول إلى النقطة التي نحن نعتمد فيها كليا على بنيتنا التحتية. يتم مزجها بإحكام حتى أن أي تعطيل في شبكات أجهزة الطرد المركزي

(1) Fedson، D. S. (2009). Confronting the next infl uenza pandemic with anti–inflammatory and immunomodulatory agents: Why they are needed and how they might work. Influenza and Other Respiratory Viruses، 3(4)، 129–142.

يحـدث بسرعة من خلال العديد من القطاعـات. بدون كهرباء، لا يمكن ضـخ المياه في أي من المدن، ولا يمكن أن يبقى الغـذاء أو أن تتم معالجته، ولا يمكـن تشغيل قطـارات نقل الفحم أو إيقـاف تشغيل المناجم ومعامل التكريـر وإغـلاق الإنترنت وخطوط الاتصـال الأخـرى أو النظام المالي العالمي. ستؤثر كل هذه العوامل في القطاعات الأخرى تباعا.

عـدم وجود وقود الديزل يعنـي أن لا زراعة، ولا مال، ولا صناعة، ولا رحـلات، ولا أدوية. الحد مـن الصدمات العالمية يتطلـب منا أن نخفف هـذه الشبكات. من المثير للاهتمـام أن نرى أن شبكـة الإنترنت هي أقل عرضة لتغـيرات مفاجئة. الشبكة نفسها من المرجـح إن تبقي أداء أجهزة الكمبيوتـر إذا كان من يتعرض للهجوم من فيروسـات الكمبيوتر بسبب هيكلهـا السيطرة الميدانية. قد يسبب وبـاء الكمبيوتر بعض العقد الشبكة لتفشـل، ولكن عندها يكون تغيير مسـار الاتصال تلقائيا. لا يمكن توجيه هجوم على بعض العقد قـرب المسافات الطويلة للاتصالات التي تتسبب فى ازدحام المرور الرقمية. متانة البنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات وسيلة يمكـن أن توزع بسرعة برامج جديدة لإصلاح الخلل الأمني. يتم تطويرها مـن قبل شركات متخصصة تستجيـب فورا وتعمل بسرعـة للغاية لتوفير العلاج. يمكن للشـركات أن تتعافى من إصابة أجهـزة الكمبيوتر الخاصة بهم بسرعة مع إعادة الاتصال مع الشبكة ومواصلة أعمالها.

في التحضـير لمواجهة وباء الإنفلونزا القادم، ينبغي لنـا أن نقلد المتانة التي هـي سمة من سمات البنـى التحتية الحساسة الأخـرى. التحضير لصدمات كبـيرة يخفف وسائل شبكاتنا العالمية، وتحقيق اللامركزية من شأنه أن يجعل

عالمنا أكثر استقرارا. كان للناس الذين يستخدمون الخلايا الشمسية والأفران الخشبية في النار ميزة إذا كان الوباء للخروج فقط لأنهم يعتمدون جزئيا على شبكة الكهرباء. والمدن التي تمتلك احتياطيات غذائية إستراتيجية تكون أكثر قـدرة على البقاء. وسـوف تكون وحدات الإنتاج الصغـيرة، دون سلاسل التوريد العالمية، قادرة على الاستمرار لفترة أطول والانتعاش بصورة أسرع.

وهنـاك كميـة معينة مـن المركزيـة التي ستظـل ضرورية، يعتقـد ديفيد فيدسـون. (سوف تكون هناك حاجة إلى إنتـاج وتوزيع عوامل عامة مثل الستاتـين. حتـى ولو كانت تنتج في دول مثل الهند، سـوف تبقى هناك حاجـة إلى توزيعها في جميع أنحاء البلاد وإلى دول أخرى مجاورة. ولكن في كثـير من المناطق، سوف تكـون هناك بالفعل وفـرة في يوم واحد من الوباء. بعد كل شيء، يشيع استخدام هذه العوامل لمعالجة الأوضاع الجارية على أساس يومي. هذه المبالغ هي على الأرجح ما يكفي لعلاج 2 أو 10 في المئة من السكان الذين هم في حالة حرجة).

5 - نوعية الحياة

كم عامـاً سيعيش أطفالنـا؟ 120؟ 150؟ متوسط عمـر الإنسان لا يزال يطول، وسوف يصبـح بإمكاننا أن نتمتع بحياة طويلة أكثر وأكثر. وهناك نسبـة كبيرة من أطفـال اليوم الذيـن سيتمكنون يوما مـا بالاحتفال بعيد ميلادهـم 100، في حين ظهـر في عام 1900، نصف البشـر كانوا قد لقوا حتفهـم قبـل سن 37. وقـد تقدم متوسط العمـر المتوقع في العـالم الغربي

بسرعــة ملحوظة، مما يعني أن عدد المسنين يزداد بسرعة أيضا. منذ قرن من الزمــان، كان مجرد الذين تتراوح أعمارهم بــين 1 في المئة من سكان العالم يزيــد عمرهم عن 65. بحلــول عام 2050، سوف يكون هــذا الرقم نحو 20 في المئــة. والأطفال الذين ولدوا في عام 2010 يعيشون في المتوسط 20 سنــة أطول من متوسط عمر أولئك الذين ولدوا في 1950[1]. تزيد الحياة 3 سنوات عن كل عقد يمر، مما يعكس التقدم المستمر في التكنولوجيا.

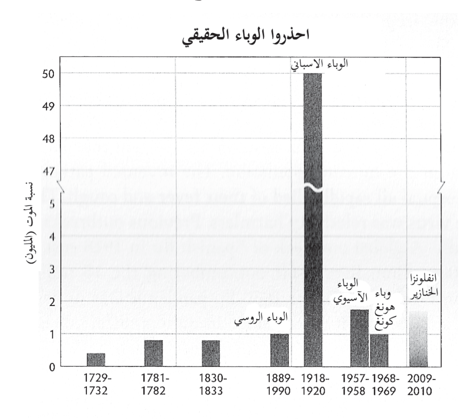
يتم توفير ضروريات الحياة بشكل أكثر كفاءة مما كانت عليه قبل قرن من الزمان، خاصةً في الغرب. هناك ما يكفي من الطعام، وكذلك للباس والمأوى. التقدم في العلــوم الطبيــة يعني أننا يمكن أن يعيش فترة أطول مــن دون الوقوع ضحية لهذا المرضــ. وإذا كنا لا نمرضــ، لا يمكننا البقاء على قيد الحيــاة لفترة أطول. المرض المزمن، وأمراض القلب والسرطان لم تعد بالضرورة حكما بالإعدام.

الناســ في العالم النامــي يعيشون الآن طالما أن الأسبــاب الرئيسية للوفاة لمــن هم دون ســن الخمسين هي العنــف والانتحار وتكمــن وراء وصول التكنولوجيــا الطبية. نحن نعتمد فقط على التدخل الطبي في وقت لاحق في حياتنــا، في السن التي نبدأ بـ (كسر) ارتفــع بشكل بكثير من نظرائهم في الماضــي. الشخص الذي يبلغ الآن الـ75 مــن عمره لديه مستوى مماثل مــن الصحــة والحيوية، وقدرة على التمتع بالحيــاة تفوق جيلين ممن كانت أعمارهــم 65. أصبحنا أقل توتراً، وتحسنت الظروف المعيشية لدينا، ويتم اتخاذ إجراءات عاجلة إذا ما سارت الأمور بشكل خاطئ. الأهم من ذلك

(1) World population prospects: The 2008 revision. New York: United Nations.

أن كثيرا من الناس يعتقدون أنه من المفيد أن تعيش أطول ونحن يمكن أن تتمتع سنوات إضافية في صحة جيدة وظروف ممتعة. ومع ذلك، خلال مناقشة هذا الفصل، فإننا نواجه احتمال البقاء على قيد الحياة فترة أطول يمكن أن يترتب عليها أيضا مجموعة من المشاكل الجديدة تماما.

كيف يمكن أن تمتد حياتنا فترة طويلة؟ بالنسبة للغالبية العظمى من الفترة التي كانت الإنسان العاقل موجودا فيها، فقد نجا بالكاد البشر بعد سن 40. ومع ذلك، طوال القرن الماضي، لقد تم رفع متوسط العمر المتوقع باطراد، وليس هناك ما يشير حتى الآن من الحد للارتفاع. البشر هم أشد مما كنا نظن؛ أجسادنا لتبدو أقوى مما اشتبه العلماء في كل الفترات. نحن لسنا موصولين بقنبلة موقوتة معدة لتنفجر عندما تصل سن 100، 80، أو 150. وتدمير الذات في سن متقدمة لا تخدم أي غرض واضح من حيث بقاء جنسنا البشري[1].



(1) Vijg، J.، and Campisi، J. (2008). Puzzles، promises and a cure for ageing. Nature، 454(7208)، 1065–1071.

هنـاك علاقة ثابتة بين حجم الجسم وطول العمـر. تعيش الفيلة لمدة 70 عاما، البقرة لمدة 30، والفئران لمجرد سنتين. كما أن الحيوانات الكبيرة أبطأ من الصغـيرة أيضا، لأن كل شيء يعمل ببطء أكـثر في الحيوانات الكبيرة، فإنها تبلى بسرعة أقل أيضا. الاختلافات في الجهاز المناعي هي عامل آخر. يتم إصلاح عيوب الحمض النووي بصورة أكثر فعالية في الفيلة مما هي عليه في الفئران. الحيوانات الكبيرة وجهاز المناعة أكثر تعقيدا. أجسادهم لديها الغرفـة اللازمة لتخزيـن الملايين من الخلايا الدفاعيـة المختلفة في دمائهم. الحيوانات الصغيرة لا تملك هذا الترف، وبحيث يكون مكافحة الأمراض بطريقة أقل تكرارا، مما يقلل من احتمالات بقائهم[1].

ومـع ذلك، بغض النظـر عن مدى دقة الجهاز المناعـي، فإن كمية معينة مـن الضرر دائما دون رادع، وهذا يتراكم في مسار حياتنا. لا يوجد مثيل واحد في حد ذاته أمر بالغ الأهمية، ولكن في الجمع، إنها يمكن أن تؤدي إلى تدهور مطرد والتعطيل للكائن. تتفاعل العناصر التالفة، ونؤكد الزيادة، ممـا يؤدي في النهاية إلى الانهيار الكلـي. أجسادنا تفشل في نهاية المطاف إلى أنظمـة معقدة. في سياق تاريخنا، نجحنـا في تأجيل هذا الانهيار لفترة أطول وأطول. في هذا الصدد، البشر هم استثناء لبقية المملكة الحيوانية.

بنـاء على وزن الجسـم وحده، يجـب أن يكون متوسـط العمر جنسنا المتوقع للنفس نحو 15 سنوات تقريبا في صورة خنزير أو الأغنام من نفس

(1) Wiegel، F. W.، and Perelson، A. S. (2004). Some scaling principles for the immune system. Immunology and Cell Biology، 82، 127–131.

الحجـم. وتبقى فرص بقاء الإنسان العاقل على قيـد الحياة مشابهة لذلك فيل، الذي يزن 100 مرة أكثر منا. يمكننا التغلب على أعطال أجسادنا حتى نصل إلى سن متقدمة، وهي النقطة التي تثير فجأة أزمة قاتلة.

تحدثنا حـول هذه القضايا مـع ستيفن لامبرتس، وهـو طبيب هولندي متخصص في الشيخوخة والعميد السابق لجامعة ايراسموس في روتردام. غالبا ما يحدث انهيار مفاجئ، كما هو الحال في كثير من الأحيان في النظم التفاعل المعقد. (لقد كانت لدينا فترة طويلة من الانخفاض التدريجي قبل العثـور على أنفسنا في حاجة حقيقية لتقديم المساعدة)، يلاحظ لامبرتس. وأضاف (لكـن الانتقال من الحالة المريض إلى الحالـة الصحية يصبح أكثر وضوحـا. تبدأ الأمور بالسير بشكل خاطئ فجأة، وفي وقت قريب نصل إلى 75. أصبح الناس اعتماديين. ومنذ ذلك الحين فصاعدا، فإنهم غالبا ما تتطلب سنوات عديدة من يتلقون الرعاية بشكل مكثف. وهذا يقلقني).

ربما نتمكن من الحد من تدهور أجسادنا من خلال زرع أنسجة جديدة للتصـدي لنفوذ تلـف الحمض النـووي. أو ربما يمكننا تمديد فـترة حياتنا باستخدام علاجـات قادرة على حشد أنظمة المناعة لدينا، وتنظيم وضعنا الداخلي ثم كسر الأسفل قليلا في وقت لاحق. ومع ذلك، يعتقد لامبرتس يعتقد أن هذه التطورات من شأنها أن تجعل الآتي أشد حزناً.

السـن المتقدمة ليسـت مرادفا للحيـاة سعيدة، كما يقـول. كطبيب، هناك لحظـات عندما تنقله أجنحـة كاملة من المسنين إلى البـكاء. (لا أرى أي نقطة في محاولة رفع الحـد الأقصى لعصرنا. كل ما نقوم به هو جعل المباراة النهائية، مرحلـة تعتمد علـى حياتنا لفترة أطول. فمن المنطقـي أكثر من ذلك بكثير في

محاولــة لتجنب الوقوع في هذه الحالة، أو إذا كان هذا يحدث، لجعله احتمالا ممكن. إنها قضية وتصرخ طلبا للاهتمام ولكننا نتجاهل الأمر تماما. في موقفي، أشعر بخيبة أمل عميقة أن أرى المسنين محصورين في عنابر المستشفى).

الناس العاديون الذين عملوا بجد طوال حياتهم هناك، خمسة أو ستة في غرفــة، في انتظار أن يموتــوا. لا أريد أن أراهم في السرير. فمن غير المقبول أن عشرات الآلاف مــن الناس في نهاية المطاف ينامون في بولهم والبراز. ولكنهــا ليست واقعيــة أن نعتقد أنــه يمكن العثور علــى الموظفين لاتخاذ الرعاية المناسبة لكل هؤلاء الناس على مدار الساعة.

هناك أيضا مسألة أخرى في بيوت المسنين، لامبرتس يفكر. (في السنوات العشريــن المقبلة، سيكون عــدد المسنين ضعف الناس حقــا في العديد من البلدان الغربية. فمن الصعب أن نتصور أنه سيكون لدينا ما يكفي من المنزل ليساعد على رفع كل منهم من الفراش مرتين في اليوم. لا نملك العديد من الأيدي، وهــو ما يعني أنه سيكون علينا أن ننظر إلى التكنولوجيا. وتتصل نوعية الحياة مع الاستقلال وفرصة للحياة الاجتماعية. لذا المسألة أنه يمكن للتكنولوجيــا مساعدتنا علــى الرؤية والسماع، الذهــاب إلى المرحاض، الفهــم، والتواصل. لا أستطيــع تصور سلسلة من المساعــدات التي هناك حاجــة ماسة إليهــا والتي يمكن تصنيعها بسهولــة، والتي لن تكون مكلفة للغاية وستحسن إلى حد كبير نوعية حياة المسنين).

يعتقد لامبرتس أن هذه الأشياء لا وجود لها حتى الآن لأنه لم يتم توجيه التطور التكنولوجــي تجاه المسنين. (صور من المنــازل العالية في المستقبل تظهــر لنــا دائما الشبــاب الأصحاء الذيــن لا يحتاجــون إلى أي من تلك

الأشياء. إنهم قادرون تماما على العثور على مفتاح الضوء. لماذا يريدون مجسات خاصة لفعل ذلك بالنسبة لهم؟ لدينا لتصميم منازل مريحة لشعبنا القديمة. إنها التكنولوجيا التي من شأنها أن توفر لنا فعلا الكثير من المال لأنه من شأنه أن يساعد كبار السن للبقاء مستقلين لفترة أطول. إذا كان هناك تركيز على مجموعة من المهندسين على محمل الجد، فإنه لا يمكننا تحقيق انفراجة. مجتمعنا بحاجة ماسة إلى المساعدات التكنولوجية لكبار السن، إلا أن الأمر لم يحدث بعد).

في رأي ستيفن لامبرتس، لا يولي الأطباء اهتماما كافيا لهذه المسألة سواء، بقدر ما يعنيهم الأمر. إذا كان هناك شخص مصاب بالالتهاب الرئوي، على سبيل المثال، فدورهم هو ببساطة أن يصفوا المضادات الحيوية. ولكن لا بد من القيام بالكثير إذا كان الشخص سيصبح قادر على العيش بشكل مستقل مرة أخرى بعد مرض من هذا القبيل.

(إنها ليست قضية طبية، بل هي مسألة كيف يمكننا دعم سكاننا المسنين. إذا مجتمعنا يدير تحسين نوعية الحياة في المرحلة النهائية، وسوف نكون قد حققنا شيئا خاصا جدا). كان لامبرتس يرغب باستعداد قائمته عندما تحدثنا إليه. إنه يقترح تكنولوجيا محددة لمساعدتنا كلما تقدمنا في السن، وسلسلة من المقترحات الفنية لمعالجة المشاكل الأكثر إلحاحا.

الرؤية والانتقال

يعتقد ستيفن لامبرتس، على سبيل المثال، أن التكنولوجيا يمكن أن تساعد في مكافحة العمى. واحد من الأسباب الرئيسية للتدهور في الرؤية

المسنين هو الضمور البقعي. ثلث البالغين من 75 – إلى 85 سنة من العمر يعانون من هذه الحالة، الأمر الذي ينتج عن تراكم تدريجي للدهون وراء شبكية العين، ويتسبب بإلحاق أضرار في الخلايا الحساسة للضوء، ويؤدي في النهاية إلى العمى. الجزء غير المتضرر الوحيد حتى الآن في الجزء المركزي من الشبكية هي المنطقة التي نستخدمها عادة للقراءة. الحواف لا تزال سليمة.

يمكن للمرضى غالبا الاستمرار بالقراءة عبر استخدام منظار خاص بالشبكية التي تستغل ما تبقى من القدرة البصرية الطرفية. ولكن هذا لا يساعدهم على السير أو الغلي غلاية. الأجهزة الثقيلة والمحمولة موجودة مع الكاميرات والشاشات حتى يتمكن الناس من رؤية الأشياء من حولهم. (لكن ليس هناك وجهة صحيحة في النظرية أن كنت لا تستطيع استخدام الإلكترونيات الدقيقة مماثلة لتلك التي في هاتفك المحمول. وتمكن المرضى من هذا القبيل الذهاب في رعاية أنفسهم. والمساعدات من هذا النوع تساهم بشكل كبير في الحفاظ على استقلالها).

التكنولوجيا الجديدة لمفاصل الميزات أيضا على القائمة التي يرغب بها لامبرتس. استبدال مفصل ما ليس مكلفا فحسب، بل هو أيضا ذو تأثير مؤقت. الوركين والركبتين المصطنعة لا تدوم لأكثر من 12 أو 15 سنة، وهو أمر يرجع أساسا إلى الطريقة التي تلحق هذه العظام. تم إصلاح المفصل الصناعي في مكانه باستخدام المسامير المعدنية. مع مرور الوقت، تنمو العظام أرق، وتخفف من المسامير. ما هو أكثر من ذلك، المفاصل الاصطناعية لها سوى مجموعة محدودة من الحركة، فهي تجعلك تصنع

المشي قليلا. هذا يعني أيضا أن المشترك يفتقر إلى المرونة في التعامل مع تحركات غير عادية، الأمر الذي أدى إلى أن تبلى بشكل أسرع.

هذا الرداء الإضافي، جنبا إلى جنب مع تخفيف نقاط الربط، يعني أن المشترك قد يكون في نهاية المطاف إلى استبدال. وسوف يحتاج المرضى الذين يستعملون الورك الاصطناعي في سن الـ75 إلى واحد جديد عند بلوغهم 90. كلّما تقدّم الناس في العمر، كلما صار الأمر أكثر عرضة للحدوث، لذلك نحن بحاجة لتمديد العمر الافتراضي للمفاصل اصطناعية. وهناك طريقتان للقيام بذلك.

ويمكن تحقيق الكثير، على سبيل المثال، عبر استخدام أفضل للمواد والمفاصل الأكثر تطورا، والميكانيكا الأكثر ذكاء، وتقنيات التحديد البديلة. سيكون حلا أفضل حتى اختيار المواد الطبيعية لإعطاء مفاصل جديدة للشخص الأصلي تغطي على قطع الغضروف، على سبيل المثال، ليعيد التبطين في الركبة أو مفصل الورك. وينبغي أن هندسة الأنسجة تجعل ذلك ممكنا.

يمكن لعضلاتنا أيضا أن تبدأ في الفشل كلما تقدمنا في السن، وتسرق منا قوة الخروج من السرير أو الذهاب إلى المرحاض لوحدنا. يعتقد لامبرتس أنه يمكن القيام بالكثير عبر المساعدات الميكانيكية. وهناك حاجة إلى الأيدي المعدن حول مصاعد الفراش لمساعدتك على رفع نفسك أو الخروج من المرحاض. وهذا يعني في نهاية المطاف الروبوهات المنزلية.

المهام الدقيقة، مثل ارتداء جوارب الدعم، لا تزال صعبة للغاية لذراعي الروبوت، وتتنوع أحجام جدا في الساق، كما يمكن أن يختلف سلوك

المريض. ولكن يمكن بسهولة رفع السرير مع أزرار بسيطة ليتم إنتاجها باستخدام التكنولوجيا الحالية. وهذا النوع من المساعدة في لحظات حاسمة يبقي الناس مستقلة. أسلوب آخر هو تحفيز العضلات. يمكن للمرضى المصابين بشلل نصفي اتخاذ خطوات إذا ما سلمت المحفزات الإستراتيجية في هذا السبيل. هذا هو المفيد في حالة المرضى الصغار، كما أنه يوفر الرعاية التي يحتاجون إليها لبقية حياتهم. كبار السن غالبا ما لا يحصلون على هذا النوع من المساعدة، على الرغم من أنها سوف تساعدهم على التحرك خطوة خطوة أو الخروج من المرحاض. يعتقد ستيفن لامبرتس أننا بحاجة إلى الخروج مع الأجهزة الذكية من شأنها أن تجعل تقديم هذا النوع من المحفزات أرخص وأكثر قابلية للحياة وبالتالي للمسنين أيضا.

الاتصالات

الأطفال الصم خلقيا يتلقون زرع القوقعة الاصطناعية، الأجهزة التي تتولى وظيفة المطرقة، السندان، والركاب، وعناصر من الأذن التي تكشف عن الاهتزازات. يكلف 80000 دولار لاستعادة السمع الطفل. مع ذلك، غالبا ما لا تحصل عملية زرع قوقعة للكبار. يترك الناس المسنين وحدهم مع سنوات قليلة فقط للعيش. (ينبغي ألا يكون هناك أي شعب من الصم والبكم في مجتمعنا بعد الآن)، يعتقد ستيفن لامبرتس. ويمكننا أيضا معالجة أشكال عديدة من الصمم في سن الشيخوخة. التكنولوجيا باهظة الثمن، لكنني أجد أنه من غير المقبول أن هناك مجموعة كبيرة نسبيا من الناس الذين لا يعالجون من الأذن الداخلية الصمم. نحن بحاجة إلى

إيجاد تقنيات أرخص حتى يتمكن أكثر الناس من الاستفادة من هذا النوع من العلاج. (التكنولوجيا يمكن أن تساعد على درء الشعور بالوحدة، أيضا)، لامبرتس يقول.

هذا أمر حاسم لشعور الناس المسنين بالرفاه. هناك الكثير من الأجهزة ومعدات الاتصالات للمسنين، ولكن هذه غالبا ما تتألف من ما يزيد قليلا على زر الذعر لتنبيه خدمات الطوارئ في أحسن الأحوال، وارتباط الهاتف إلى مركز الدعم الفني. الأمر رائع إذا كنت تعاني من السقوط، ولكن لا يساعد كثيرا إذا كنت بحاجة لمجرد الدردشة. يرسل الشباب لبعضه البعض رسائل عبر الهاتف، مع أو بدون كاميرا ويب، صور، واتصالات الإنترنت واسعة النطاق. ويستعمل المسنون الهواتف القديمة للتواصل مع أبنائهم وأصدقائهم. يمكن للمعلومات المرئية تعزيز الاتصالات، وخصوصا عندما لا يعود السمع كما كان عليه. والهاتف المرئي للمسنين، لن يكون بالتأكيد من الصعب جدا تحقيقه.

التحدي الأكبر هو دعم المسنين وإدراكهم قبل التدهور. نحن نعلم أن التمارين الذهنية توفر حماية فعالة ضد فقدان الذاكرة، والاتصالات والأنشطة الاجتماعية البطيئة أيضا باستمرار انخفاض في الأداء الإدراكي. ويمكن للتكنولوجيا تساعدنا أيضا، عندما تبدأ قوى الذاكرة في التلاشي. الإنذارات المرئية والمسموعة، على سبيل المثال، يمكن أن تذكرنا بأن الوقت قد حان لتناول وجبة أو لتناول الدواء لدينا. نحن بحاجة إلى أن المواقد التي تطفئ نفسها تلقائيا، والقدور التي تجعل من المستحيل أن تحرق أنفسنا. الإدراك في معظم الأحيان انخفاض تدريجي جدا قبل الخرف في

مجموعات، ويمكن، الحد من العواقب إلى حد ما، عن طريق التكنولوجيا. هذا أمر مهم، على الرغم من أنه يقدم القليل من الراحة الحقيقية. المساعدة التي توفرها التكنولوجيا قليلة لسوء الحظ، بحسب لامبرتس.

هذه مجرد أمثلة قليلة من تحقيق اختراقات كبيرة على حد سواء، وسوف تكون هناك حاجة إلى المساعدة في تعويض الانخفاض في كلياتنا مع تقدم العمر. هناك أشياء أخرى يمكن أن تجعل الحياة أسهل. إنها ليست في المقام الأول على سؤال في علم الأحياء المجهرية أو المستحضرات الصيدلانية التي تطيل الحياة بقدر ما تضيف إلى الأدوات البشرية الموجودة. إنها عقولنا، بعد كل شيء، التي قدمت لنا فترة حياة أطول من تلك التي يتمتع بها الخراف أو الخنازير. يمكننا أن نخترع كل أنواع الأدوات اللازمة لتمديد الجسم البشري، مما يجعل لنا بفعالية أكبر وأقوى من الحجم الذي نقترحه. في كثير من الحالات، المساعدات للمسنين هي بالفعل ممكنة تقنيا، ولكن سيتطلب الإنتاج الضخم بالنسبة لهم لتحقيق انفراجة حقيقية. وسوف يعني ذلك موقفا مختلفا عن جزء من المصممين. بدلا من الوسائل التقنية المعقدة محملة الوظائف التي ترفع السعر، يجب أن يجردوها إلى الأساسيات: الأجهزة البسيطة التي يمكن أن تنتج بأعداد كبيرة. إنها تمثل تحديا صناعيا للمصممين لدينا وينبغي مواجهته. بل هو أيضا مثال على المشكلة المعقدة، وهو ما يعني أنه سيتعين دمج مختلف التخصصات العلمية والهندسية لتحقيق اختراقات اللازمة. وسوف تتطلب حلولا عملية أفضل جدا من الإلكترونيات لدينا، والهندسة الميكانيكية، والاتصالات السلكية واللاسلكية، ونظم الرقابة، فضلا عن علومنا الطبية.

الفصل الخامس

المجتمعات

1 - مجتمع الهندسة

انفجـرت عاصفة في برلين في عام 1989 في مكان ليس بعيدا عن الذي كان كتـب فيه الكثير من هذا الكتـاب. بدأ كل شيء في طريقة صغيرة مع الناس الذين يحضرون الخدمـات الأسبوعية في الكنيسـة المحلية للصلاة من أجل السلام. وعندمـا كان النظام الشيوعي في ألمانيا الشرقية يستخدم العنف لتفريق مظاهرة، أصبحـت الكنيسة ملجأ لمئات للآلاف من الناس في وقـت لاحق. وكان المجتمع قد نمـا جامداً. للتعبير عنه في لغة التعقيد، أصبحـت الشبكة الاجتماعيـة ممتدة بمرونة بحيث يمكـن نشر أي صدمة بسهولة في جميع أنحاء النظام.

حتى أن الشرطة ضربت مرارا وتكرارا الكنيسة، ولكن المجموعة فشلت في الاستجابـة بالطريقة المتوقعة. بدلا من الـركل واللكم، قاموا بالصلاة والغنـاء. لم يعرضـوا منطـق الفعل ورد الفعـل، الـذي أدّى في النهاية إلى سحـب الشرطة في الارتباك. خلقت ردود فعـل إيجابية على المتظاهرين، ونتيجة لذلك، نمت كتلة من الناس بشكل أكبر.

(كنـا على استعداد لكل شيء ولكن ليس للشموع)، علق قائد الشرطة في وقت لاحق. أربكت الاحتجاجات أيضا زعماء الجمهورية الديمقراطية الألمانية غير المرنـين. في ذروة الاحتجاجات، أعلن وزير ألمانيا الشرقية أنه يسمـح للمواطنـين بالسفر إلى الغـرب. كانت الفوضى التـي تلت ذلك ضخمة للغاية بحيث أن المؤرخـين لا يزالون يسعون إلى كشف التسلسل

الدقيـق للأحداث. على شفا مرحلة انتقالية حرجـة، تتبدد القوى القديمة ويمكن بذلك أن تحدث الحركات غير المتوقعة.

هذا هو مثال نموذجي للحركة صغيرة التي يمكن أن تؤدي إلى أشياء أكبر بكثير، كما رأينا أيضا في النظم الأخرى المعقدة. وضعت عشرات الآلاف مـن الناسـ الحصار إلى الجدار. وقـد خسر في نهاية المطـاف من قرّر رفع الحواجـز في ضباب التاريـخ. كان على الأرجح ضابـط من ذوي الرتب المتدنية عند معبر الحدود ولم يعد قادرا على التعامل مع الجماهير. لتخفيف الضغـط، سمح لقلة من المواطنين بالمرور من خـلال الجدار. وكان التأثير كمـن يقوم برمي البنزين على النـار، أو لوضع الأمر بطريقة أخرى، لخلق ردود الفعـل الإيجابيـة التي يميل إليهـا الوضع في المرحلـة الانتقالية. في غضـون دقائق، لم يعد من الممكن تقييد الحشد. كان اليسار الخيار الوحيد لفتح الحدود مرة واحدة وإلى الأبد. وكان جدار برلين قد سقط.

ويمكن فهم الثورة السلمية في الجمهورية الألمانية الديموقراطية من حيث نظـام معقد انتقل الآن للخـروج من التوازن. هناك مجموعـة متزايدة من علمـاء الاجتماع الذين يستخدمـون أساليب علمية معقـدة لتحقيق فهم أفضـل في عمليات من هـذا النوع. عبر أخذ سلوك الأفـراد كأساس لها، يحاولـون أن يخلقـوا نمـوذج لما يمكن أن يـؤدي إلى الظواهـر الجماعية. تنطوي دراستهم في الغالب على الحركات المجتمعية التي هي أكثر تدرجا مـن الثورات. يدرسون، على سبيل المثال، كيفيـة نشر الآراء والشائعات، وكيفية تشكيل المجموعات، وكيف يتموج التصفيق من خلال الجمهور. تساعد هذه العمليات على فهم حالات أكثر تعقيدا، مثل نوبات الذعر في

الأسواق المالية، والتحضر، والانتفاضات الشعبية.

هذا العلم الناشئ من الديناميات الاجتماعية يستفيد من الكمية الهائلة من البيانات الجديدة في السلوك البشري التي أصبحت متاحة في السنوات العشرة الماضية. وترسي العلوم العصبية الأسس لفهم جديد للسلوك البشري والتفاعل على المستوى الفردي. وفي الوقت نفسه، على مستوى المجموعة، يمكن لعلماء الاجتماع الجدد الاعتماد على كتلة من البيانات التي تنتج مجتمعاتنا الرقمية وتتقفى أثر كل جانب تقريبا من النشاط البشري. خبير التحضر يستشهد بتوافر جميع البيانات من الهاتف المحمول في المدينة الرئيسية، والذي يسمح له أن يرصد بدقة كيف يمكن للناس تشكيل شبكات شخصية جديدة عند إعادة توطينهم هناك. الصورة الناتجة هي أكثر كمالا ودقة مما استطاع علماء الاجتماع تحقيقه في أي وقت مضى، مستندين على الأساليب التقليدية للاستبيانات والفرز اليدوي.

الأمر الآخر المهم هو القدرة على خلق مجتمعات افتراضية. هذه تشبه ألعاب الكمبيوتر مثل سيم سيتي التي يتفاعل فيها المواطنين الأفراد وفقا لأنماط محددة. يتكون النموذج الناتج للمجتمع من شبكة المتغيرة باستمرار من التفاعلات يشارك فيها عدد كبير من الناس الذين يستجيبون لبعضهم البعض. يتطور المجتمع داخل الكمبيوتر ويكشف هذا النوع من السلوك الجماعي التي قد يتطور. ويمكن استكشاف ذلك، على سبيل المثال، تحت أي ظروف، وستؤدي حتما الانتفاضة إلى ثورة. وقد تم تحفيز الحلقات الرئيسية من الثورة الروسية في هذه الطريقة. كل هذا يقدم نهجا جديدا لعلم الاجتماع. كان علماء المدرسة القديمة يستخدمون الحسابات، ولم تكن هناك

بيانــات تلزمهم بحالات ثابتة قريبة من التوازن. في هذا النهج الجديد، يمكن تحفيز ديناميات الوضع مع الأخذ في الاعتبار تأثيرات التوازن غير الخطية.

وقــد بينت هذا الأمر في حــد ذاته أساسيا من حيث فهــم سلوك القطيع و الظواهــر الأخرى غير العقلانية، وهذا بــدوره يجعل من الممكن دراسة كيفية تغير المجتمعات أو تعطل الأسواق. هذا النهج الجديد هو بالفعل غلة انفجار نتائج جديدة[1]. وقــد تم الحصول على العديد من الأفكار الجديدة من قبل الغرباء في كثير من الأحيان في الفيزياء أو الرياضيات، الذين تدربوا على تعقيد النموذج وتحديد أنماط في مجموعات البيانات الكبيرة.

نصادف أيضا متخصصين في الفصــول التالية والذين يعملون على هامش هــذا المجال. كان واحدا من النجاحــات الأولى لإنتاج إحصاءات دقيقة عن حوادث البورصــة. وقد أعرب أجيال من الاقتصاديــين الاستغراب في هذه (القيم المتطرفة الإحصائية.) ومع ذلك، الآن، يمكن أن يفهم التعطل الكبير في نفس سياق تقلبات سوق الأسهم. وتظهر دراسات مماثلة أخرى مدى انتشار الفيروســات، وكيف يتحــرك الناس من خلال المدينة، وكيــف تتطور شبكة الطيران. ولا شك أن هناك إجراء لبحوث مماثلة في خدمات سرية أخرى.

في الواقــع، لديها القــدرة على مساعــدة زعماء في كل مــن الكوريتين ودول الشرق الأوسط، وميانمار، والناس في أي مكان آخر الذين بنوا الجدران لمجموعة

---

(1) An introduction to the field is Lazer، D.، Pentland، A.، Adamic، L.، Aral، S.، Barabási، A. L.، et al. (2009). Computational social science. Science، 323(5915)، 721–723. See also Epstein J. M.، and Axtell، R. L. (1996). Growing artificial societies: Social science from the bottom up. Washington: The Brookings Institution.

واحـدة منفصلة عـن بعضها البعض. مـاذا تحتاج لمنع احتجاج مـن الخروج عن السيطـرة؟ كيف يتـم تفريق مجموعة من الهتاف الذين هـم على استعداد لتحدي الشرطـة؟ كيف يمكن إقناع الناس في خضم الفوضـى لمتابعة قادتهم مرة أخرى؟ إنها كلها معلومات ذات صلة للغاية بالنسبة للسلطات والمحتجين على حد سواء.

نبدأ هذا الجزء من الكتاب مع فصلين يركزان على الفرد. في هذه الفصول، نسعى للإجابة علـى الأسئلة حول كيفية تأثير بيئتنا الاجتماعية علينا، وكيف نتعلـم، وكيف يتم تغيـير أدمغتنا بواسطة المحفـزات الخارجية المحمومة. ثم إننـا نتقدم بخطـوة أعمق في التكتل مع بعض الأفـكار حول صعود وهبوط في مدننـا الكبرى. بعدها، نصف كيفية التعامل مع سلوك القطيع في حالات الكوارث. ونقـوم بجولة في هذين الفصلين على الشبكات البشرية التي تمتد حول العالم. الشبكات الاقتصاديـة الآن مشدودة بحيث يمكننا أن نشعر آثار الأزمة المالية في كل مكان. ومع ذلك، إن الترابط نفسه يعني أيضا أن البلدان هم أقل عرضة للجوء إلى صراع عسكري ضد بعضهم البعض.

2 - التعليم الأساسي

عجـز الأطفـال حديثي الولادة أمر محبب جدا. يمكـن أن يتنفسوا من دون مساعـدة، لكنهـم على خلاف ذلك تماما في أمور أخـرى، واعتماديين وغير متكيفـين. يمكن بالـكاد رؤية الأطفـال، ناهيك عن المشـي أو الكلام. عدد قليـل من الحيوانات يأتي إلى العالم غير مستعد لذلك، وأية أنواع أخرى تعتمد علـى التعلم كما حال البشر. عجول الفيل، على سبيل المثال، يمكنهم الوقوف

بأنفسهم في غضون دقائق قليلة من ولادته. وبالمثل معظم الحيوانات (مبرمجة).

الفيلـة الإناث تحمل صغارها لمدة لا تقل عن 22 شهرا، بينما نحن البشر نذهب للاستثمار في أولادنا لفترة طويلة بعد ولادتهم. الأطفال يحتاجون إلى مزيـد مـن حماية الكبـار. أدمغتهم تستهلك بالكامـل 60 في المئة من المدخـول المولود من الطاقة الإجماليـة. في السنة الأولى من الحياة، يكون رأس الرضع في طنين مع نشاط الخلايا العصبية في النمو من حيث الحجم والتعقيـد، وطرق ترابطهم لا تعد ولا تحصـى. طريقة تطور عمل الدماغ هو موضوع الفصل القادم. هنا نركز على الطريقة التي تلقينا فيها ثقافتنا.

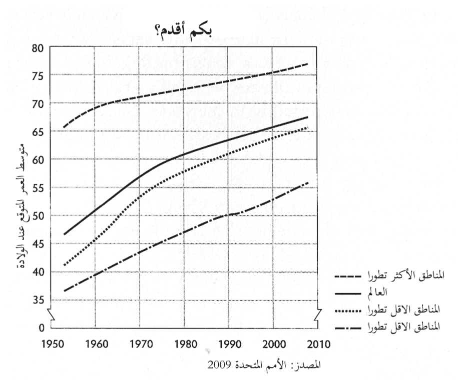
ليس هناك عمليـا أي فرق بين الإنويت وسـكان أستراليا الأصليين من حيث القدرة، على طرفين نقيضين من هذه الأرض والتي هي في مناخات مختلفـة تماما، علـى الإنجاب بنجـاح. الأنواع الحيوانيـة الأخرى مترابطة بشـكل وثيق مع بيئتها. وقد تطـورت الرئيسات الأخرى لاحتلال موئل الأحيائي محدود يحدده الغذاء والمناخ. البشر هم أكثر عالمية.

كل أطفال الإنسان لديهم فرصة للبقاء على قدم المساواة أينما ولدوا. في جنسنا البشري، لدينا تأخير النضج والتكيف حتى بعد الولادة، الأمر الذي يجعل التفاوت في التنمية البشرية اللاحقة كافة أكثر حدة. من غير المرجح علـى الإطـلاق أن يتعلم شخص ولد في مالي أو بوركينـا فاسو القراءة[1]. والأشخاص الـذي كان والده يعيش في أوكسفورد، علـى النقيض من

---

(1) Literacy in those countries stands at 24.0 and 23.6 percent، respectively. United Nations Development Programme Report 2007–2008، p. 226.

ذلـك، قـد تكلموا الكلمات الأولى له أو لها مـن اللاتينية في سن مبكرة. قـد تكون ولادة السكان الأصليين في الإسكيمو والرضع على حد سواء، ولكـن فرصهم تبدأ تتباعد في اللحظة التي نبدأ فيها تعلم كيفية العيش. لا نشكل فحسب بواسطة طبيعتنا الخلقية، ولكن عن طريق الثقافة التي نتأثر بها من قبل الناس بعدما نكبر.



المصدز: الأمم المتحدة 2009

التعلـم يجعل الأطفال مختلفين، وهـذا هو السبب في أنه من غير المقبول أن أكـثر مـن 100 مليون طفل في سـن الدراسة لا يذهبـون إلى الدروس. كواحدة مـن (أهداف الألفية)، فقد التزمـت الأمم المتحدة نفسها لخفض هـذا العـدد إلى الصفر بحلول عـام 2015. للأسف، علـى الرغم من أنها حققـت قدرا من التقدم، فمن المرجح أن ثلثي البلدان 86 التي تفتقر حاليا للتعليم الأساسي وسوف تفشل في تحقيق ذلك بحلول عام 2015.

وغالبـا ما يكون التعليـم ضحية للسياسـة. ومن الغريـب أنه يجب أن تتحـدى زعماء العـالم حول استخدامهـم للتعذيب، وتقليص الحريات، وعـدم وجود محاكمات عادلة، ولكن ليس حـول سياسات التعليم وهذه

لهـا تأثير علـى الأمهات وأطفالهـن. الرعاية الصحيـة الأساسية هي جزء مـن نفس القضية، وأمهات الأطفال الذين يعانون من المرض ويكادون لا يكونـون في وضع يمكنهم فيه التطـور تربويا. التعليم يعاني أيضا من نقص في المعلمين، والموارد التعليمـي، والفهم الصحيح لتنمية الأحداث. وثمة حاجة إلى انفـراج حقيقي لضمان وصول التعليـم العالمي إلى جميع ثمار الثقافة البشرية.

أفـكار جديدة من علـم الاجتماع، وعلم الأعصـاب، وعلم الحاسوب تساهـم في تغيير فهمنا لتعلم الإنسـان[1]. هذه الأفكار يمكن أن يكون لها تأثـير عميق على التعليم، وبالتالي على ثقافتنا بشكل عام. هذه الأفكار قد تساعـد في نهاية المطـاف لاستمرار الجنس البشري معـا، وضمان تكافؤ الفرص للأطفال الرضع الذين يولدون متساوين.

التقليد

التعلم هو نشاط بين الناس. ويستخدم الأطفال القرائن الاجتماعية لفهم العـالم من حولهم. تقليد غيره من البشر هو أحـد الأركان الأساسية لتنمية الطفـل. فإنه يوفر الكثير من التجـارب والأخطاء، لأن ما يقوم به شخص آخـر ربما يكـون من المفيد محاولتـه لنفسك. نحن تدربنا منـذ سن مبكرة على الاعـتراف والاستجابة لأنمـاط. يقلّد الأطفال خطـاب آبائهم حتى

(1) Meltzoff، A. N.، Kuhl، P. K.، Movellan، J.، and Sejnowski، T. J. (2009). Foundations for a new science of learning. Science، 325(5938)، 284–288.

قبل أن تعلموه للحديث. وثرثرة طفل صيني تختلف عن ذلك بصوت مسموع للرضيع الأمريكي. وإذا كانوا يريدون تبديل المهد، يجب أن تكون مهاراتهم اللغوية قد أصبحت مشدودة.

يبدأ الأطفال بسرعة تقليد تعبيرات أمهاتهم والتمسك بها بألسنتهم عند قيام آبائهم بها. ويمكن لطفل صغير يرى أمه تستخدم لوحة المفاتيح أن يبدأ أيضا في لكزة المفاتيح. لا يغرس مثل هذا السلوك عن عمد، وربما حتى يكون بالإحباط. وليس هناك بالتأكيد أي الميل الفطري للتفاعل مع كائن من البلاستيك في مثل هذه الطريقة. الطفل يقلد ما يراه ببساطة.

يبني التقليد. ويتم تجهيز مناطق الدماغ في تصورات تداخل المناطق المسؤولة عن بدء الإجراءات. التجارب مع الأطفال تبين أن التفاعلات الاجتماعية تعزز التعلم بطرق مختلفة لا تعد ولا تحصى. التعاطف والاهتمام المشترك، والتدريب على المساعدة. وتفترض الأدمغة شكلا أكثر استقرارا في مجرى حياة الإنسان في الاستجابة لآلاف الأمثلة على ذلك. نحن نقوم بتخزين ما يصل الإجراءات التي تمكننا من العمل بشكل فعال للغاية عند الكثير من الأشياء التي تأتي إلينا في وقت واحد. يمكننا تقييم الأوضاع بسرعة واتخاذ قرارات فورية دون الحاجة إلى تكرار كل المعايير في كل مرة. هي قفزة للخروج من الطريق، على سبيل المثال، عندما نرى سيارة تندفع نحونا.

هذه هي الطريقة التي تصبح فيها ثقافتنا محفورة في ذهن الطفل. إذا كانت الأم تستطيع القراءة والكتابة، الطفل يريد أن يفعل الشيء نفسه. كلما تطوّرت الأم، كلما زادت فرصة أطفالها للتنمية، ثقافة تتيح للأطفال

الفرصة الدخول حضارتنا على مستوى عال. جهاز التحكم عن بعد للتلفزيون ليس بعيدا عمّا تمثله الشجرة للطفل. وحتى الذين لم يكبروا مع الإنترنت سيتمكنون من مواكبته. كل جيل يبدأ على مستوى أعلى مع المعرفة أكثر تعقيدا. إنها الطريقة التي نتعلم بها التي تجعل التقدم الثقافي ممكنا.

الكومبيوتر كنموذج

التعلم من التجربة ليس شيئا تجيده أجهزة الكمبيوتر. قبل أن يتمكنوا من النزول في أي عمل مفيد، فإنه يجب أن تتلقى برامج إصلاح قواعد التحليل واتخاذ كل ما يتم القيام به. حاول علماء الكمبيوتر تغيير ذلك، وبحثوا عن البدائل التي تحاكي الطريقة التي يتعلم بها الأطفال. وضعت لديهم أجهزة الكمبيوتر التي لم يكن لديها برنامج. مثل الأطفال حديثي الولادة، تبدأ هذه الآلات مع سجل نظيف، والذي يتم بعد ذلك تعبئته بالملاحظات التي تستمر بدورها لتنظيم أعمالهم.

يمكن بالفعل لما يسمى بالشبكات العصبية أن يتم نشرها في جميع أنواع الحالات التي يصعب تحديد قواعدها. مثل الناس، يمكن لأجهزة الكمبيوتر الآن جعل القرارات على أساس معايير غامضة في مجالات مثل التحكم في درجة حرارة مبنى أو التعرف على الكلام. وهكذا، التعامل مع معلومات غير كاملة أو نصف مفهومة لم يعد حكرا على العقول الحية. الشبكات العصبية ليست مفيدة فقط لمعالجة المشاكل التي لم يتم برمجة بسهولة، لكنها يمكن أن تساعدنا أيضا لنفهم كيف يأتي الأطفال على السيطرة على مر

الزمن مع بيئتهم المعقدة.

الكمبيوتـر هو مختبر لمحاولة معرفة كيفية التعلـم المختلفة لقواعد العمل في الممارسة العملية. يمكننا اختبار، على سبيل المثال، الطريقة الأكثر فعالية لأجهـزة الكمبيوتر للتعامل مع مدخلات معقـدة. يبدو أنها تتعلم بطريقة أكثر فعالية عندما تبدأ عملية التعلم مع إشارات قليلة، وبعد ذلك يتم زيادة تدريجيا التعقيد. ويمكن أيضـا أن يتحسن تعلم الكمبيوتر عن طريق دمج عنصـر التفاعل الاجتماعي. في تجربة واحدة، كانت دمية المحوسبة مبرمجة في التماس الارتباطات بين سلوكها والتغيرات في بيئتها.

في غضون دقائق، لاحظـت أنه تم اتباعها دائما بالصرخات الخاصة بها عـن طريق أصوات الإهليلجي الشاحـب المتمركزة أمامه. فقد علمت أنه يواجـه دميـة لها أهمية معينـة. ويمكن بعد ذلك مواجهـة نفس الإنسان، ولكن لا يمكن أن تستخدم كدليل لمحاولة تصنيف تفاعلات أكثر تعقيدا.

مثـل هذه التجـارب تضيف بعدا جديدا لعلم التعلـم، كما هي الأفكار الجديدة الناشئـة عن أبحاث الدماغ. يمكن أن نـرى علماء الأعصاب مع زيادة دقة في كيفية نقل المعلومات من العالم الخارجي إلى الدماغ وتخزينها هناك قبل إعادة ظهـور. وهذا يخلق فرصة لاختبار نظريات التعليم. كان المعلمون يعملون تقليديا على أساس الحدس، والمعتقدات، والملاحظات الذاتيـة. لدينـا الآن فرصة لاستكشـاف تجريبيا الأفـكار المتناقضة أحيانا من المنظرين التعليميين البارزيـن مثل ماريا مونتيسوري، رودولف شتاينر (الدورف التعليم)، وهيلين باركهورست (دالتون مدرسة)، وبالتالي خلق قاعـدة علمية جديدة لعلم أصـول التدريس. على الرغم من أن هذا النهج

الجديد لا يزال في مراحله الأولى، يمكن تحقيق اختراقات في هذا المجال وتقديم أفكار جديدة من شأنها أن تجعل من السهل التعلم. ويمكن أن تتحول في تزويد الأطفال الصغار، بما في ذلك في المناطق المعزولة، بالمزيد من الفرص للتنشئة الاجتماعية في وقت مبكر في عالمنا المعقد.

تعلم التعقيد

وقد شجعت هانز فان جينكل التعلم في كل ركن من أركان العالم. الأستاذ الإندونيسي الهولندي الأصل علّم في البداية الجغرافيا البشرية والتخطيط. ومع ذلك، في عام 1997، تم تعيينه عميد جامعة الأمم المتحدة في طوكيو، وعند هذه النقطة تحول تركيزه على التعليم في العالم النامي. إنه متقاعد الآن، وهو وكيل الأمم المتحدة السابق ورئيس الرابطة الدولية للجامعات التي لا تزال نشطة في مجموعة واسعة من المهمات التربوية. (التعليم يجب أن يعالج تعقيد عالمنا بطريقة أكثر فعالية)، كما يقول.

إن عددا من التفاعلات والمسافة التي على اتصال في تزايد. نحن ندرك ونرى المزيد من الناس، ونحن ندرك أن العالم أصبح أكثر تعقيدا. لا أحد من المزارعين في غانا يتشارك فقط مع سوقه المحلية. لأنه يعلم شيئا عن دعم الاتحاد الأوروبي ويجب أن تأخذ في الاعتبار الإنتاج الغذائي في الولايات المتحدة. كل شيء مرتبط بكل شيء آخر، وهذا هو جوهر العولمة. أمر العالم الناشئ الذي يتميز بالربط التقارب والتغيير. وأطفالنا يجب أن يتعلموا، للأفضل أو للأسوأ، العيش وسط هذا التعقيد المتزايد.

عبر النظر إلى العالم من زاوية صغيرة، الخطوات نحو التعقيد هي كبيرة

جدا. يمكن أن تجعل العقل البشري فقط يقفز بطرق محدودة. كنت بحاجة لدمج التعليم من التعقيد في سن مبكرة، وإلا فإنه لن ينجح. فمن المهم الالتزام بمهمة التعليم والوفاء بها. الناس بحاجة لمعرفة كيفية تفكير التعقيد والحجم. يتعارض الأمر مع أفكار بعض التربويين والكثير من الناس الآخرين الذين وضعوا لهجة في مجتمعنا. التعليم اليوم في وسائل الإعلام في كثير من الأحيان مكان توتر بشكل خاص على البساطة. ما نحتاجه حقا، ومع ذلك، هو (التوصل إلى فهم أفضل لمدى تعقيد التكنولوجيا والمجتمع).

(التعقد ليس فقط مسألة تخصصات مختلفة ولكن من مستويات مختلفة أيضا)، فان جينكل يفسر. (وينبغي للتعليم مساعدة الناس على تنمية شعور واسع. يمكنك أن تتعلم فقط كيف تسير الأمور وتتداخل ويحصل كل شيء بشكل أكبر إذا ما قدم الموضوعات بطريقة متكاملة. وينبغي التعرف على الترابط بين الأشياء التي لا تكون فقط في صميم المدرسة. جزء من ذلك هو تعلم أن نتوقع ما هو غير متوقع. النظم المعقدة دائما مختلفة. لا يتسبب بالكوارث الطبيعية حدث واحد، ولكن عن طريق مزيج من الأشياء. نظم الإنذار المبكر لها قيمة محدودة إذ أنها تستند فقط على تجارب سابقة الأحداث. إنه نفس الشيء مع العديد من الأشياء في مجتمعنا: المعرفة الخطية من المناهج المبرمجة مسبقا لا تساعد في مثل هذه الحالات، بل تحتاج منظور والاستجابة).

هذا ليس شيئا يمكنك معرفة ذلك من خلال نقل مباشر للمعرفة، فان جينكل يجادل. (وأنت لا تعلم الأمور من خلال النظر ويكيبيديا سواء. ربط القرى بشبكة الإنترنت في الحقيقة ليست أفضل طريقة لتحسين

التعليـم. وكثيرا ما يقـال إنه من خلال الحوسبـة في كل مكان، وأن مجتمع المعلومات يعطـي الناس الفرصة لاتخـاذ الخيارات التـي تأسست بشكل صحيـح. إذا لم نتمكن من وضع تلك المعلومـات في سياقها الصحيح، إلا أن الأمـر لا يسبب التوتر. ليس هناك نقص في المعلومات بعيدا عن ذلك. مـا هو مهم هو معرفة كيفيـة استخدامها. هذا هو أحد أسباب التعليم على الإنترنـت وقد تم القيام بذلك في إفريقيا. مبادرات مثل الجامعة الافتراضية لا تعمـل لأنها غريبة على هذا المجتمع، حتـى أنه يمكن للناس الدخول إلى الإنترنـت، ولكـن مـن دون أن يستفيدوا فعلا من هذا النـوع من التعليم. الدروس التي تبث علـى الراديو يمكنها أن تفعل الكثـير على نحو أفضل. الإنتاج المحلي بسيط، ولديه تشكيلة البث واسعة، ويمكنك الاستماع إليها في مجموعـات. تبين أن عليـك استخدام المؤسسات المحليـة لتقديم أفكار جديـدة. الأشياء التي تأتي من الخارج هي أقـل فعالية من الأشياء التي تأتي من داخل الجماعة نفسها. المجتمع يجب أن يكون قادرا على النمو معها).

يمكن للعلوم جديدة مـن التعلم أن تساعد في هذه الحالة لاتخاذ الخيارات الصحيحـة. (التعليم الظاهـري من هذا النوع يضع النـاس خارج مجتمعهم التعلمـي. ما هو أكثر من ذلك، فـإن الميزانية الحالية لهيـاكل التعليم تتراجع بسبـب مبادرات موازية مـن هذا القبيل)، يحذر هانز فـان جينكل. هو في صالح توسيع هذا المجتمع التعلم. (وبما أن العالم يصبح أكثر وأكثر صلة، يجب عليـك أن تسأل نفسك ما إذا كان سيكون قادرا على الازدهار إذا استمرت الفجوة بـين الشمال والجنوب استمـرت بالنمو على نطـاق أوسع. تقاسم المـال لا يكفي لتحقيق المسـاواة في مستويات التعليم. يجب أن يكون هناك

أيضا حصتنا في التفكير، لدينا العقول. التعليم هو عملية إنسانية عميقة. فإنه يأخذ المزيد من الجهد لتبادل أفكارنا كمن يقوم بالتبرع بالمال. على الرغم من المتطوعين من الدول الغنية للقيام بواجبهم، فإنهم غالبا ما يفتقرون إلى الخبرة للغاية. لا تزال هناك اتجاهات إيجابية، أيضا، مع المتقاعدين والموظفين في إجازة وتبادل المعارف والخبرات. التوأمة مع المؤسسات ذات الصلة في الخارج، والبرامج المشتركة المستهدفة هي مهمة أيضا).

يعتقد هانز فان جينكل، علاوة على ذلك، أن مشاركة هؤلاء المتطوعين من ذوي الخبرة والمؤسسات هو دليل واضح على أن العالم لا يدور حول المال بحتة. (إنه لأمر جيد أن نبين للناس أن ليست جميع الأشياء إيجابية وأعرب دائما من حيث السيولة النقدية. ويجب أن يكون لديك المثل العليا. نحن لا نريد من الناس أن يطمحوا بساطة لتصميم شاشات التلفزيون الأفضل، وما يحتاجه العالم هو الأفراد الذين يرغبون في وضع أفكارهم موضع التطبيق. أكبر تهديد للمجتمع هو عندما يتم اتخاذ المثل الأعلى الناس بعيدا عنهم. عليك أن تعرف أن العالم سوف ينفتح لك عند الانتهاء من دراستك. هذا هو التحدي الحقيقي العالمي).

3 - الحفاظ على الهوية

أصول البارونة سوزان غرينفيلد هي أكثر تواضعا مما قد يوحي لقبها. وكان والدها عامل آلة صناعية في حي لندن. في بريطانيا، على عكس العديد من البلدان الأخرى، فمن الممكن كسب مزايا من خلال الندية

الخاصة بك، بدلا من الوراثة النقية. السيدة غرينفيلد تملك سلطة رائدة في العالم في الدماغ البشري. إلا أنها تشعر بالقلق أن التكنولوجيا غزت حياتنا بشكل عميق جدا لدرجة أنها بدأت تؤثر على الطريقة التي تعمل أدمغتنا وبالتالي شخصياتنا. (الناس يتوقون للتجارب بدلا من البحث عن المعنى)، كما تقول.

إنهم يعيشون اللحظة أكثر ولا يشعرون بسردية حياتهم، الاستمرارية. إنهم يفتقرون إلى وجود شعور البداية، الأوسط، والنهاية. لديهم أقل من الشعور بأنهم يقومون بوضع هوية طوال حياتهم مع خط القصة مستمر من الشباب والطفولة والأبوة، حتى الأجداد. ويتم التركيز أكثر على العملية وليس على المحتوى. لديك الآن الناس الذين هم أكثر (حساسية من (المعرفة).

تعتبر سوزان غرينفيلد أن أحد أسباب هذا التطور هي الآثار التي تتلقاها أدمغتنا في سن مبكرة جدا. وتجادل بأن الحياة الحديثة، مع إيقاعها المحموم من الانطباعات البصرية هي مختلفة جدا عن الماضي، لافتة بذلك إلى طفولتها الخاصة في الخمسينيات والستينيات. في شبابنا، تتشكل أدمغتنا، وهي تنمو بجنون خلال السنوات الأولى من الحياة، مطوّرة متاهات الاتصالات. وخلال السنوات التي تلي، قد تظل ذكية للغاية، وتقوم بتشكيل علاقات جديدة ومتغيرة بسرعة استجابة لمحيطنا. فالكثير مما حولنا أثناء الرضاعة والطفولة، والمراهقة المبكرة هي التي تحدد نتائج هذه المرحلة من تشكيل الدماغ. الدماغ يعرض على درجة هائلة مما تسميه غرينفيلد (المطاوعة). خلال هذه المرحلة، يتم تشكيلها الاتصالات،

وعندما تكون هناك حاجة إليها.

كانت البارونة غرينفيلد قد وضعت أسس السمات الخاصة بطريقة مشابهة خلال شبابها. الطريقة التي التهمت فيها سوزان الكتب في شبابها شكل دماغها في تلك المرحلة، وعزّز خيالها، وقدرتها على التأقلم عقليا مع السرد الموسع. ربما تشكل حينها اهتمامها المهني في المستقبل أيضا. لا بد لعقل الأرنب، الذي كان مرة في يديها، على سبيل المثال، بأنه ترك انطباعا لا يمحى. تلاقيها حظا من الطبيعة والتنشئة جعلتها عالما رائعا، لتصبح أستاذة في علم الصيدلة في كلية لينكولن متشابك، أكسفورد، والمديرة السابقة للمعهد الملكي. كما في الحياة، السيدة غرينفيلد هي أيضا عضو في مجلس اللوردات، وقد نشرت العديد من الكتب الشعبية عن أبحاث الدماغ[1].

نحن معقدون

الشبكة من 100 مليار خلية عصبية في الدماغ التي تشكلت لدينا هي واحدة من الهياكل الأكثر تعقيدا التي نواجهها في هذا الكتاب. يملك متوسط الإنسان الراشد قد 500000000000000 الاتصالات في رأسه أو لها (5×1014). بحسب سوزان غرينفيلد، يحب أن يقارن هذا مع الشبكات الأخرى المعقدة، وأوجه الشبه الموجودة، كما تقول، ضاربة

(1) Recently، for example، Greenfield، S. (2004). Tomorrow's people: How 21st century technology is changing the way we think and feel. London: Penguin; Greenfield، S. (2008). I.D.: The quest for identity in the 21st century. London: Sceptre.

للغايـة. خذ شبكـة العلاقات من حولنا على سبيـل المثال، مثل الوصلات العصبية، فإنها تعزز مـن خلال استخدام ومساهمة أكثر كثافة. فهي تتغير باستمـرار، وخصوصا خلال شبابنا. هو أكثر مـن مجرد استعارة سطحية، وبحسب غرينفيلد: كلا النوعين من الشبكة يمدان النفوذ لبعضهم البعض.

العلاقة هي ظاهـرة بوضوح عندما تبدأ الشبكـة الأساسية بالانكسار، كمرض ألزهايمر، تعطي غرينفيلد مثـالا باعتبارها اختصاصية في أمراض الأعصـاب. تحول نمو المخ هو في الواقع في الاتجـاه المعاكس عندما يتلقى ضربات الخرف. تفقد الاتصـالات في الدماغ، ونفقد تدريجيا المهارات التـي اكتسبناها في سياق حياتنـا. تتلاشى شخصياتنا مع قدرتنا للربط بين أحداث محددة في السرد المنطقي. في نهاية المطاف، نرى الوجوه الجينية من حولنا فقط، والتي لا تعود مرتبطة الذكريات. كما تختفي أيضا الشبكات الاجتماعية، عندما تبدأ شبكات الدماغ بالانهيار.

ويمكـن لانهيار مماثل أن يحدث تحـت تأثير المخدرات التي تغير التوازن الدقيـق للتفاعلات الكيميائية التـي يتواصل من خلالها الدماغ. في بعض الحـالات، إنها فقط تحـدّ التواصل داخل الدمـاغ، وإلا أن أكثر الأحيان، وجود فائض من الهرمونات مثـل الدوبامين العصبية يحفز على النشاط، وبالتـالي يعرقل وظيفة المراقبـة للدماغ. نفقد القدرة علـى التفكير بشأن العواقـب المترتبة علـى سلوكنا ونبـدأ في العيش فقط (هنـا والآن). شيء مشابـه يحدث أثناء ممارسة الجنس، أو أثنـاء الرقص، أو أثناء ركوب قطار الملاهي. (إنه يجعلك تشعر بشكل جيد،) تؤكد غرينفيلد.

(ولكـن ربما الكثير منه قد يسبب الضـرر لقدرتك على الفهم وراء إثارة

هـذه اللحظة. ثم تفقد الوصلات في الدمـا غ). وهذا الضعف في أدمغتنا هـو القلـق الأكبر لغرينفيلـد. يمكن للسلـوك التشويقي الـذي يسعى إليه الشباب أن يؤدي إلى إنتاج جرعة جديدة من الدوبامين. وتعطي غرينفيلد مثـلاً لألعاب الكمبيوتر. (قد تكون هناك لعبـة عليك فيها إطلاق سراحه أمـيرة مسجونة، ولكن في ألعاب الكمبيوتر التـي تراها الآن، فالأمر غير متعلّق بالشخص، وأنت لا تعرفه شخصياً. كل شيء مرتبط بالإثارات التي تحصل في هذه العملية).

والإفـراج عـن تلك الإثارة يـؤدي إلى إنتاج الدوبامـين في الدماغ، مما يجعلك تريـد المتابعة. إذا كنت محاطا بوسائط متعـددة سريعة الخطى، مع تركيز قـوي جدا على الحواس بدلا من التركيز علـى العنصر المعرفي، فإن العمليـة في الدماغ ستسير وفقا لذلك. وسـوف تزيد قدرتك على ردود فعـل سريعة، ولكن لن يكون هنـاك اتصالات كافية لدعم المعنى أو القدرة على الربط بين الشيء والشيء آخر.

هـذا أمر محزن لأنـه يؤدي إلى انتقاص من شعـورك بهويتك. لا يمكنك تحديد هويتك من حيث الشعور باللحظة. الهوية هي حول معنى ومغزى. وتعتقـد سـوزان غرينفيلد أن كميـة الوقت التي يكرسهـا الناس لمثل هذه المباريـات يجعل الأمر أسـوأ. لم يحدث من قبـل أن كان للبشر الكثير من الوقت الحر، بصرف النظر عن الحال في الأديرة. حتى وقت قريب، كانت الحيـاة اليومية لمعظم النـاس كاملة الكدح. لم يكن لديـك الوقت للتفكير كثيرا، وربما كانت دورة الحياة أقصر. الآن لأول مرة في تاريخ البشر، هناك الكثـير من الراحة والتحـرر من الألم، الأمر الذي يسمـح للناس بتكريس

وقتهم في أشياء أخرى من بقائهم الفوري. فمن المقلق أن نرى المرة الأولى أن الناس كبروا وقد بدؤوا بلعب المباريات بمفردهم شأنهم كشأن الأطفال. إنهم لا يستخدمون الألعاب كوسيلة لتنشئة الأجيال كما فعل من قبلهم. إذا كان كل ما حققناه مع الحضارة الإنسانية بكل ما نملك من العلم هو الجلوس وراء الشاشة للحصول على بعض الإثارة خاصة، فأنا أجد أن الأمر محزن للغاية. وهو مسيء لمرحلة البلوغ.

سيناريو اللا أحد

وقد أدت ملاحظات البارونة غرينفيلد لتصنيف السلوك البشري في أمثلة السمات المختلفة. الشخص الذي يشكل هويته عبر العلاقات مع الآخرين هو شخص في تصنيف غرينفيلد. دماغ الشخص لديه اتصالات كثيرة، ولكن ما يجري هو صقلها بشكل مستمر من خلال ظهور أسلاك من الخارج. الفرد هو كيف يرى الآخرون هذا الشخص. شخصية (أي شخص) هي شخصية أكثر تحفظا. هذا الشخص لديه أيضا اتصالات المخ جيدة، ولكن أقل عرضة للتغيير. الحياة من هذا النوع هي أكثر شكلية؛ هويتها أقل مشروطة وأكثر اتساقا. فمن الأرجح أن تكون برئاسة المذاهب ويمكن أيضا أن يعتقد أنه أصولي.

وقد كان التاريخ الغربي من عصر التنوير وحتى نهاية القرن العشرين في الأساس صراعا بين شخصية الشخص وشخصية الأي شخص، بين الأنواع الفردية والجماعية، وبين قابلية التكيف التي تتطلبها الأسواق الحرة واليقين التي تقدمه الشمولية، وبين الخيارات الساحقة من الديمقراطية

ووضوح الدكتاتورية.

إنتاج القرن الحادي والعشرين النموذج الثالث، تعتقد غرينفيلد. إنه يملك نوع السمات مع الأسلاك الأقل وساعة في الدماغ، والذي يفتقر إلى الإطار القادر على إعطاء معنى لمحيط الشخص. هذا النموذج الأصلي لديه فقط خبرات وليس قصص شاملة. (إن لم يكن هناك أحد لا ليخبركم قصة أكبر، فإنك لا تعلم التفكير مجازا. التعليم هو حول العلاقة بين الشيء وشيء آخر. إذا كان ذلك لا يظهر لك، فإنك لن تكون قادرا على ابتكار قصة أكبر من نفسك).

ومما يعزز عقلية اللا أحد هو وجود فائض من الدوبامين، كالعينية التي نحصل عليها من ألعاب الكمبيوتر والتعاقب السريع للحوافز البصرية. (المرء جيد وسيئ على حد السواء)، يعتقد غرينفيلد. (الجيل الجديد لديه عقل رشيقة للغاية من حيث تناول التنسيق الحركي، ورؤية الأنماط. لكنهم يفتقرون إلى المعنى العميق لما يفعلون. كما يعيش الناس في مزيد من (هنا والآن)، فإنهم يتخذون المزيد من المخاطر وإحساس أقل بالهوية. هناك المزيد من التركيز على حرفية وأخذ الأمور على عواهنها بدلا من التفكير مجازيا ورمزيا).

وتعتقد غرينفيلد يعتقد أن هناك بالفعل أدلة على أن العلاقات آخذة في التغير. قالت لي إحداهن إن لديها 900 صديق في الفيسبوك. هذا مستحيل: لا يمكن أن يكون لك 900 صديق. الأمر يحط جدا من مفهوم الصداقة. الصديق هو الشخص الذي يأخذك لتمشوا معاً عندما تكون قد انتهيت للتو من علاقة حب، أو عندما تكون قد فقدت وظيفتك. إنها ليست مع

شخص ما كل ما يجمعكما قد يكون مجرد سطر واحد في الفيسبوك. (مع الوقت، لن يعود الناس قادرين على تعريف أنفسهم، وسيكون للآخرين هوية منفصلة. والقصة كلها ما يجعل الحياة الفريدة تختفي، مما يؤدي إلى خلق مجتمع في حالة من العته).

لا تعتقد غرينفيلد أن أيا من هذه الشخصيات الثلاثة يمكن أن تعطي لنا الوفاء والشعور بالذات الذي نحتاجه في القرن الحادي والعشرين. ولكنها ترى أيضا أنه يمكن أن يكون هناك نوع رابع، وهو الشخص اليوريكا الذي يملك دماغا بلاستيكيا بما فيه الكفاية للتخلي عن الاتصالات القديمة، وتشكيل روابط جديدة ما كانت لتخطر على بال أحد. إنها شخصية إبداعية لا تتشكل عبر الانطباعات الخارجية، ولكن من خلال إعادة طرحها عبر الجهود الخاصة. العلماء الموهوبون والفنانون والملحنون ينتمون إلى هذه الفئة لأنهم يستخدمون المعرفة وفهم المعرفة لتوليد أفكار جديدة. المعرفة لها قيمة محدودة إذا لم نكن قادرين على وضعها في سياق أوسع. فهم القضايا وراء المعرفة يؤدي لاحقا إلى منصة الإبداع. أشخاص يوريكا هم بالتالي القادرون على استيعاب المعرفة لفهم خلفية وسياق القضايا، الأمر الذي يولد المعرفة الجديدة والتفاهم.

تقول سوزان غرينفيلد، إنه تحد للمهندسين، للمساعدة على تعزيز هذا الإبداع. (يمكننا أن نفكر في سبل لإعطاء التكنولوجيا معنى ومغزى للناس بدلا من الراحة والإحساس. إذا كان الناس يقضون معظم وقتهم أمام الشاشة، وسيكون عليهم معرفة أن ما تعطيه إياهم الشاشات لا يمكن أن نجده في الحياة الحقيقية).

ثم يمكننا أن نحاول جعل شيئا من هذا القبيل في العالم ثلاثي الأبعاد. أو يمكن أن نستخدم وسيلة ثنائي الأبعاد لتسليم بعض الأشياء التي فقدت. ونحن قد نعزز الإبداع. وأعتقد أنه من الضروري الحصول على مزيد من المهندسين المشاركين في تطوير اللعبة. إنها تقنية قوية جدا ومثيرة، وسيتعين علينا أن ننتظر لاستخدامه لتعطينا شعورا أكبر. يمكنك التفكير في خلق شخصية ثانية لشخص ما، واعتبار الزاوية على الإنترنت كل شيء لنفسك، وأنه لا أحد آخر يمكن أن يراها. على العكس من الفيسبوك، حيث يمكنك مشاركة أفكارك مع 900 شخص آخر. سيكون الأمر أشبه بالمذكرات حيث يمكنك أن تكون نفسك، وتترك أفكارك، ونحفظ الذكريات والصور، والسجل الخاص بها لنفسك.

ترى غرينفيلد أيضا أن العلاج يمكن أن يكون في تدريس العلوم. (على المجتمع أن يصبح مثقفا علميا. في هذه اللحظة، تعتبر العلوم والتكنولوجيا كنشاط الأقليات. إذا كان الناس قد أصبحوا أكثر وعيا لكيفية عمل عقولهم وكيف أنهم حساسون لبيئتهم، سيكون لديهم المزيد من الاحترام لماذا يفعلون. حين يقال للناس مرة واحدة كيف تعمل عقولهم، فهم قد يقدمون أداء أفضل في الفصول الدراسية. إنه مولد للطاقة. أشياء من هذا القبيل من شأنها أن تساعد الناس على التطوير والحصول على أقصى استفادة من أنفسهم. علينا أن نفعل ذلك الآن، وإلا فإننا سوف نكتشف فجأة أننا في عالم الجيل الآي بود، من الناس الذين يرسلون النصوص لبعضهم والذين لديهم مواعيد السرعة، والذين يعيشون لحظة لحظة).

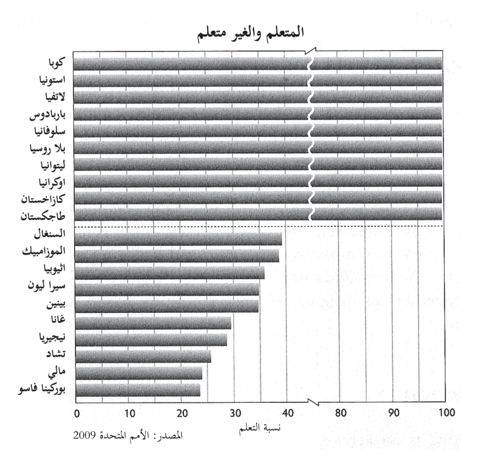
4 - مستقبل المدن

هناك فرصة أكبر من 50 في المئة أنه عند النظر من خلال نافذة، ما تراه هو منظر طبيعي من الخرسانة والأسفلت والسيارات. أكثر من نصف سكان العالم يعيشون في المدن، والنسبة في ازدياد، كما هي المشاكل المرتبطة بالمجتمعات المجمعة الأكثر كثافة والتي تصبح تدريجيا أكثر اكتظاظا. ونحن نمضي قدما في القرن الحادي والعشرين، فإن التحول الحضري سيقود إلى النهاية بعد قرنين حولت السكان الإنسان من مجتمع زراعي متناثر على سطح الأرض لحياة مضغوطة للغاية من المدينة. نمو المناطق الحضرية هو واحد من أكبر مفارقات عصرنا.

التكنولوجيات الجديدة تقدم للشركات والأفراد درجة غير مسبوقة من الحرية والحركة المكانية. ونحن قادرون على نحو متزايد أن نرى، نسمع، ونشعر ببعضنا البعض، حتى عندما يكون ما يفصل بينهما آلاف الكيلومترات. أكثر من أي وقت مضى، الناس يختارون العيش في منطقة قريبة من بعضها البعض، كما لو لم تكن هناك إمكانية أخرى للتواصل. عندما يعيش معظم الناس في المدن سيصبح المشهد الحضري الموئل مسيطرا على البشر، والتحضر المتفجر سوف يأتي حتما إلى نهايته. ثم سندخل عصر التحضر الآخر في المدينة التي سوف تضطر إلى إيجاد ديناميكية جديدة.

لم يعد يأتي النمو من خلال جذب الناس من الخارج. وهل ستحافظ المدن على حجمها؟ أو أن التحضر سوف يذهب في الاتجاه المعاكس، وتحول وسط مدينة شنغهاي، ومومباي، وشيكاغو إلى أراضي بور كلما تقدم القرن الحادي والعشرين؟ تقدم مدينة ديترويت لمحة عما يحدث عندما تتوقف مدينة عن

التنفس. ما كان ليكون المسرح هو الآن موقف للسيارات، ويزرع السكان المتزايدون الخضروات المتبقية على الساحات السابقة؛ وتستسلم مجمعات المكاتب الفارغة تدريجيا للطقس، وقد تنهار صناعة السيارات، وليس هناك ما ظهر ليحل محله. كيف يمكننا منع المدن من أن تتهاوى تحت وزنها نفسه؟



المدن ما زالت حية

في كل مكان في المدينة، تستطيع أن تسمع الهدر والزمجرة من أحد شوارع المدن. تشعر كأنها نبضات القلب. ولا يتراجع جوع المدينة أبدا: إنها تلتهم محيطها وتتغوط تدفق مستمر للنفايات. عليه يتحول التغوط إلى وحش، وهو عش النمل، وهو ديناصور. وقد عرضت المدن حيث إنها الكائنات الحية على مدى قرون، كأنها الكناية المناسبة. إحصاءات المدن الكبيرة والصغيرة تذكّر بقوة تلك الكائنات البيولوجية. القوانين تنطبق على كل من التحجيم، بل، وتوزيع رتب حجم المدن هي واحدة من أفضل علاقات القياس المعروفة في المؤسسة الإنسانية. كان العلماء محتارين

بالفعــل في أوائل القرن العشرين، عندمــا كان فقط 10 في المائة من سكان العــالم يعيشــون في المدن[1]. لم يكــن هناك سوى أربع مــدن مع أكثر من 2 مليون نسمة في عام 1900، لكن حتى ذلك الحين، كان هناك قانون يطبق علــى حجم التوسع الحضري. هناك العديد مــن المدن حيث يوجد حوالي المليــون نسمة ولكن تجعلك تشعر أن هناك 2 مليون. وينطبق الشيء نفسه إذا قمــت مقارنة مع البلــدات 100000 و 200000 نسمة. اخفض الحجم وستشعر أن الكمية تتضاعف[2].

يوجد الكثير مــن المدن الكبيرة الوقت الحاضــر، ولكن علاقة التحجيم نفسهــا تواصل التطبيق. نــرى شيئا من هذا القبيــل في الحيوانات. وليس مــن المدهش أن نعلم أن هناك فئرانا أكثر مــن الفيلة. ومع ذلك، إذا قمت بمقارنة الإحصاءات عن وفرة الثدييات مع أحجام الجسم المختلفة، ستصل إلى قانــون تحجيم واضح كالقانــون المستعمل للمــدن[3]. لا تتشابه المدن والحيوانــات من الناحيــة الإحصائية فقــط. الهيكل الداخلــي من المدينة

(1) The first study seems to be that of Auerbach، F. (1913). Das Gesetz der Bevölker–ungskonzentration. Petermanns Geographische Mitteilungen، 59(13)، 73–76. It has since been studied intensively by Zipf، G. K. (1941). National unity and disunity: The nation as a bio–social organism. Akron، Oh.: Principia Press.

(2) Gabaix، X. (1999). Zipf's law for cities: An explanation. Quarterly Journal of Eco–nomics، 114(3)، 739–768; Pumain، D. (2002). Scaling laws and urban systems، http://vermeer.net/cas; Semboloni، F. (2008). Hierarchy، cities size distribution and Zipf's law. The European Physical Journal B، 63(3)، 295–302.

(3) May، R. M. (1988). How many species are there on Earth? Science، 241(4872)، 1441–1449. There is، however، one significant statistical outlier: Homo sapiens is 10،000 times more abundant than should be the case based on the size curve. Hern، W. M. (1990). Why are there so many of us? Description and diagnosis of a planetary eco–pathological process. Population and Environment، 12(1)، 9–39.

يشبه أيضا مملكة الحيوان. تتمتع المدن والحيوانات باقتصادات الحجم الكبير المماثلة: كلما كبرت المدينة، كلما صار الأسفلت أقل، وكابلات الكهرباء، ومساحات التسوق التي تحتاجها لكل فرد من السكان. على سبيل المثال، محطات الخدمة في لندن لنسبة 10000 نسمة أقل من تلك التي في مانشستر. ويمكن استخدام مثل هذه المرافق بكفاءة أكبر في المدن الكبيرة.

نجد بالضبط نفس الشيء مع الحيوانات الكبيرة؛ وزن الفيل مثلاً أكبر عشرين مرة من وزن الغوريلا، ولكن جلده ليس أسمك سوى بثلاث مرات. وهذا يعني أن الفيل يستخدم نظام الدورة الدموية بشكل أكثر كفاءة كوقود للجسم وخلاياه. كلما كانت المدينة أكبر أيضا، كلما زاد استخدامها للبنية التحتية من الناحية الاقتصادية. قوانين التحجيم نفسها تنطبق إذا ما كنا نتحدث عن ناس يسافرون باستمرار أو عن طريقة ارتباط الخلايا في الجسم بالأوعية الدموية والأعصاب.

وتيرة الحياة

هناك مكان واحد يتوقف فيه تطبيق الاستعارة على الكائنات الحية: الحيوانات الأكبر هي الأبطأ. قلب الفيل يدق ببطء أكثر من الغوريلا، وقلب الفأر يرفرف بعيدا على نحو أسرع مما يمكننا حصره. عملية التمثيل الغذائي برمتها في الكائنات الأكبر أبطأ. يستهلك نصف وزن الجسم في الطعام كل يوم، بينما نحن البشر يمكن أن نحصل على نسبة أصغر بكثير من الطعام. في الواقع، تستغرق دورة الحياة الكاملة وقتا أكثر. الحيوانات

الكبـيرة بحاجة إلى مزيـد من الوقت لتنضج، ويعيشـون لسنوات أطول. مرة أخرى في عام 1932، أظهر الفيزيولوجي السويسري ماكس كليبر هذا التحجيم من معدلات التمثيل الغذائي مع كتلة الجسم[1].

حول منعطف القرن، فقد تبين أن الأمر هو نتيجة لهندسة البنية التحتية الداخلية، ونظم الأوعية الدمويـة للحيوانات والنباتات. الحيوانات الكبيرة ليس لديها خيار آخر سوى الاعتدال في حصة الاستهلاك والتوفير. لديهم قدرة أقل للنقل الداخلي المتـاح في الخلية الحيـة. بسبب حجم الشـركات الكبيرة، لديهـم احتمالات أقل للتخلص من الحـرارة الداخلية والنفايات. وقد تكيفوا علـى هذا الأمر عن طريق خفض معدلات الاحتراق، والتباطؤ في الوتيرة التي يعيشون فيها[2].

لو كانت وفـورات الحجم الكبير وحدها هي التي تدفع نحو نمو المدن، فالأمر بذلك يتبـع نفس النمط للحيوانات الكبيرة، ممـا يؤدي إلى التباطؤ تدريجيا ثـم تحقيق الاستقرار في حجمها. ولكن هـذا ليس ما نراه الآن. تتحرك المـدن الكبيرة بشكل واضح على معـدل أسرع؛ وتحقق من مدى سرعة الناس في المشي عبر مراقبتهم من نافذتك. وقد قام علماء الاجتماع بقياسـ سرعة المشاة في المدن ووجدوا أن الناسـ في وسط مدينة طوكيو،

(1) The amount of energy used by a single living cell in an animal decreases with the one–quarter power of its total weight. Kleiber، M. (1932). Body size and metabolism. Hilgardia، 6، 315–351. Further thoughts on this issue can be found in Smil، V. (2000). Laying down the law. Nature، 403(6770)، 597.

(2) This was pointed out in West، G. B.، Brown، J. H.، and Enquist، B. J. (1997). A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. Science، 276(5309)، 122–126. The precise explanation remains rather controversial among biologists. In our view، however، the paper by Geoffrey West et al. offers a plausible explanation.

على سبيل المثال، يركضون حرفيا إلى وجهاتهم. أو على الأقل هذا ما يبدو لشخص أصغر من مدينة مثل نيويورك أو لندن. الناس في طوكيو الناس يعتبرون أنفسهم طبيعيين تماما.

وفي الوقت نفسه، قد يفاجأ شخص من بيتسبورغ بالوتيرة سريعة في نيويورك[1]. إنها ليست مجرد مسألة المشي، وفي كل جانب من جوانب الحياة البشرية، يبدو الأمر أسرع في المدن الكبرى. وبالتالي، فإن التشبيه العضوي لا يقدم وصفا شاملا للحياة الحضرية. في الواقع، قد يكون مقلوبا رأسا على عقب. إذا أردنا أن نفهم كيفية نمو المدن، نحن بحاجة للبحث عن عمليات أخرى، قد تكون مرتبطة فقط بالبشر.

المدن تتسارع

(يسافر لويس بيتينكورت حول العالم لدراسة وخبرة وتيرة الحياة في المدن. ولد لويس في البرتغال، ودرس الفيزياء في ألمانيا وإنكلترا والولايات المتحدة. وهو حاليا أستاذ في مختبر لوس ألاموس الوطني في نيو مكسيكو. ويتعلق عمل بيتينكورت في علم الأوبئة، والشبكات الاجتماعية، والديناميات الحضرية. كيف يمكن لمدينة كبيرة أن تنمو؟ وفي العصور القديمة، كان هناك حوالي المليون نسمة في روما. واعتقد الكتاب في ذلك الوقت أن مدينة مع الكثير من الناس لا يمكن أن توجد لفترة طويلة)، كما يقول بيتينكورت.

(1) Bornstein، M. H.، and Bornstein، H. G. (1976). The pace of life. Nature، 259(19)، 557–559; Bornstein، M. H. (1979). The pace of life: Revisited. International Journal of Psychology، 14(1)، 83–90.

(زرت مؤخـرا طوكيـو، وشعـرت بدهشة مماثلـة. يوجد في المدينـة تقريبا ضعـف الكثافة السكانية من أي دولة أخـرى في العالم. ومن المثير للاهتمام أن نفكـر في الآليات التي تسمح للمدينة من 35 مليون شخص في الوجود. يتطلب الأمر السلوك والتكنولوجيـا المطلوبين لتمكين هذا العدد من الناس من العمل والعيش معـاً. البنية التحتية في المدينة معقدة بشكل مدهش، كأن النـاس لم يعودوا يعيشون في مساحة جغرافيـة. عندما تقوم بتغيير خط المترو مـن واحد إلى آخر، كل شيء يبدو مثقلاً بالمعلومات الكثيفة. وتبدو الشبكة تحـت الأرض كأن لها حياتها الخاصـة، وهي معقدة علـى درجة كبيرة قد تسبـب بضياع السكان المحليين حتى. لذلـك هناك موظفون في كل مكان يمكـن أن يشيروا لكم في الاتجاه الصحيـح. الحياة مشروطة بحسب المكان. إنها رائعة للغاية). ولكن طوكيو ليست مختلفة جدا، في الواقع، عن مومباي، ونيويـورك، أو مكسيكو سيتي، التي هي نحـو نصف حجمها وإنما تخضع لضغـط مماثل علـى المساحة. (بعض الناس يعتقدون أن المـدن مختلفة جدا، ولكـن في الحقيقة، هي في كثير من النواحي متساوية جدا. درجة التشابه لا تتوقف عن إدهاشي، كأن الحجم فقط ما يجعلها تبدو مختلفة).

يبـدو التشابه واضحا من خـلال البيانات الحضرية التـي جمعها لويس بيتنكـورت والمتعاملـين معه. وقـد كشفت عن علاقتـين تحجيم مختلفتين اتطبقـان بالنسبة لعدد كبير من المدن في أنحاء مختلفة من العالم. واحد منها هـو قانون وفورات الحجـم: كلما كانت المدينة أكـبر، كلما كانت كفاءة بنيتها التحتية المادية أكبر. الأمر مماثل لتوسيع نطاق العضوية الذي ناقشناه في وقت سابق. الأمر ينطبق على مساحة سطح الطريق، وطول الكابلات

الكهربائية، وعدد الكيلومترات التي تقطعها السيارات. ويرتبط القانون الآخر بالنشاط البشري ويمكن أن يسمى قانون الإنتاجية الزائدة: إذا ضاعفت حجم المدينة، وتحصل على 15 في المئة من زيادة الناتج للفرد الواحد. هذا ينطبق على الناتج المحلي الإجمالي ولكن أيضا وبشكل أكثر تحديدا، عن قدرته على البراءات والاختراعات.

يعمل نطاق الأجور في الطريقة نفسها بالضبط. إذا قام المرء بالانتقال إلى مدينة أكبر، سوف يكسب أكثر، ولكن الاحتمالات هي أنه سوف ينفق أكثر من ذلك. في الواقع، كل شيء الذي يشكل النسيج الاجتماعي لمقاييس المدينة يندرج في قانون معجل الإنتاجية[1]. يتضمن حالات الإيدز والجرائم العنيفة، مما يشير إلى أن المشي ليس هو الشيء الوحيد الذي يسرع في الزيادة في حجم المدن. (يبدو أن سكان المدن يقومون بأعمال أكثر في وقت أقل. الوتيرة أعلى)، يقول بيتينكورت. (وكلما صار خلق الثروة أسرع، كلما أصبح الوقت أكثر قيمة. عليك استخدام الوقت بشكل أكثر كفاءة، لأن تكلفة المعيشة تزيد أيضا. لذا، التسارع هو الموضوع المركزي في المدن. ومن الواضح أن التفاعل بين البشر يكمن في أساس ذلك).

ويبرز هذا عندما نلقي نظرة فاحصة على إحصاءات معدلات الجريمة، على سبيل المثال. (في المدن الكبرى الولايات المتحدة، لديك فرصة أكبر في أن تواجه جرائم العنف مثل القتل أو الاعتداء الجسيم. ولكن، عندما تنظر في جرائم الممتلكات

(1) Bettencourt، L.، Lobo، J.، Helbing، D.، Kühnert، C.، and West، G. B. (2007). Growth، innovation، scaling، and the pace of life in cities. Proceedings of the National Academy of Sciences، 104(17)، 7301.

مثـل السرقة، ليس هناك فرق كبير مقارنة مع المدن الصغيرة. في الولايات المتحدة، كثـيرا ما يرتبط القتل مع عصابات الجريمـة المنظمة، التي لديها ديناميكية اجتماعية في جريمة واحدة مما يؤدي إلى أخرى. هذا يختلف عن اللصوص، الذين يميلون إلى العمـل وحدهم)، يلاحظ بيتينكورت. كل من القوانـين التي كشفها بيتينكورت ومعاونيه صالحة لمجموعة كبيرة من التجمعات. لأنها صحيحة بالنسبة إلى البلدات الصغيرة ولكن أيضا في المدن الكبرى. لقانون وفورات الحجم ينطبق على النسيج المادي للمدينة وقانون الإنتاجية المتسارع على شبكات المناطق الحضرية للإنسان. معا، فإنها التقاط لمختلف القوى التي تمسك بالمدينة وتجعلها تنمو.

آليات النمو

منذ البدايات المبكرة لعلم الاجتماع، لاحظ العلماء كيف تغيرت العلاقات الإنسانيـة كلما كانت المدينة تنمو. تصبح الشبـكات الاجتماعية أكثر تنوعا، ويبـدأ العمل في التخصص. في الآونـة الأخيرة تلقى ريتشارد فلوريدا، أستاذ الدراسات الحضرية في جامعة تورنتو، الكثير من الاهتمام مع ادعائه بأن عمال التكنولوجيا، والفنانين، ومثليي الجنس من الرجال يعززون مستوى أعلى من النشـاط الاقتصادي. وفقـا لفرضية فلوريدا، يجتذب هـؤلاء الرواد المبدعين جنبـا إلى جنب مع الشركات ورأس المـال[1]. فقد كان دائما من الصعب جدا اختبار مثل هذه المزاعم، لأنه يمكن لعلماء الاجتماع أن يقوموا بأكثر قليلا من

(1) Florida، R. (2002). The rise of the creative class: And how it's transforming work، leisure، community and everyday life. New York: Basic Books.

طرح الأسئلة وتعـداد الناس. وبالتالي، يوجد تنافس بين آراء علماء الاجتماع الحضري، ولا يتفق جميعهم على الأهمية النسبية لهذه (الطبقة المبدعة).

البعض يقـول إن وجـود قوة عاملـة كبـيرة في المدن هو الـذي يمكن التخصص، وبالتالي محـركات النمو الحضـري. أو ربما هـي ثروة وجود الإمكانيـات للدول المستهلكـة وإنفاق للمال بشكل عـام. تُناقش آليات الصغـر التي تجعل المدينة تنمـو بشراسة متناهية، في ظـل غياب المعطيات التجريبيـة القادرة على حل هذه القضية. فقـط في الآونة الأخيرة، أصبح من الممكن رصد التفاعلات الاجتماعية على نطاق واسع. هناك قدر كبير من البيانات الاجتماعية التي أصبحت متاحة الآن بسبب آثار هذا التفاعل البشـري التي تظهر في نظم الاتصالات الحديثة. للمرة الأولى، فقد أصبح من الممكن رصد سلوك الناس المختلفين في آن واحد.

وقـد تمكن لويس بيتينكورت من الاعتماد علـى بيانات الهاتف المتحرك مـن كيغالي في رواندا. (البيانات تسمح لنا بمتابعة كل فرد في المنطقة)، كما يوضح. (يمكنـك تتبع، على سبيل المثال، الشخص الذي يعيش في منطقة ريفيـة مع الكثير ويملك الكثير من الاتصالات الوثيقة في الحي الذي يسكن فيـه. في مرحلة ما، هذا الشخص يقرر الهجـرة إلى المدينة. يتغير بعدها نمط اتصالاته. يمكنك مراقبة كيفية تطور شبكته في المدينة على حساب اتصالات مـع قريته. من البيانات، يمكنك أن تـرى أن الناس مع شبكة غنية أكثر قدرة علـى النجـاح في المدينـة. الناس الأقـل ارتباطـا لا يميلـون إلى حسم قرار عودتهـم. ونحن حاليا نحلل هذه البيانات للاستـدلال على كيفية التفاعل الاجتماعي والاندماج الاجتماعي وتأثيرهم على تحفيز النمو الحضري).

المقارنــة بين المدن التي تــبرز لأسباب إما جيدة أو سيئة توفــر أدلة إضافية عن آليــات النمو الحضري. القانون معجل يحمــل الإنتاجية لكثير من المدن. (لكن هنــاك بعض المدن التي تجيء بشــكل منتظم أو علــى أداء لحجمها)، كما يقول بيتينكــورت. إن القيــم المتطرفة لا تزال في كثير مــن الأحيان لفترة طويلة جدا. وأسميهــا (النكهة المحليــة للمدينة). على سبيل المثــال، قامت مدن في جنوب تكساس وكاليفورنيا الداخلية أسوأ من غيرها من حجمها على مدى عقود. على النقيض من ذلك، لم تفعل في سان خوسيــه (سليكون فالي) وسان فرانسيسكو بشــكل جيــد للغاية من قدر ما يعود إلى بيانات الدخــل لدينا. ازدهرت قبل 50 عاما، قبل وقت طويل من الإلكترونيات الدقيقة أو طفرة الدوت كوم.

وقــد تضاعــف حجم سان خوسيه في خــلال نصف القــرن الماضي، لكنها حافظت على خصائصها. منذ حوالي 50 سنة مضت، كان هناك بالفعل صناعة إلكترونية في جنوب ســان فرانسيسكو. تطورت الصناعة تدريجيا في صناعة البرمجيــات. بذور النمو التي زرعت منذ زمن طويل لا تزال تجعل المدن تزدهر. العكــس هو الصحيح أيضــا. عندما لا يكون هناك أي شــيء جديد أو تطور، ليس هناك أية جاذبية، في الواقع، يميل الناس إلى مغادرة البلاد. حتى المدن تملك ذاكــرة طويلة. هناك شيء مستمرة في المدن جاذبيــة، وهو أمر أكثر من وجود طبقة مبدعة من مصممي الويب. ونحن حاليا نحلل الاختلافات في العمل بين هاتين المدينتين، وهذا قد يعطي نظرة أكثر تعمقا في آليات النمو[1].

---

(1) Bettencourt، L. M. A.، Lobo، J.، Strumsky، D.، and West، G. B. The universality and in- dividuality of cities: A new perspective on urban wealth، knowledge and crime. In press.

هـذه العمليات هـي مألوفة تماما إلى أي عالم الاجتمـاع درس التحضر. لقـد دخلنا الآن في فترة لم نعد فيها بحاجة إلى الاعتماد على بيانات المسح وبعض الملاحظات. ويمكن ملاحظـة تجميع الناس اليوم كالهيئات الهائلة من البيانات، ويمكن أن تكـون على غرار العمليات في جهاز الكمبيوتر. يمكـن لهذا النوع من البحوث تقديم المزيد من الأدلة بشأن القوى الكامنة في قانـون معجل الإنتاجيـة. يتم تقـديم القرائن عبر الديناميـات السريعة للحركة الاجتماعيـة التي أعربت عنها بيانات الهاتـف المتحرك والتطور التاريخـي الممتـد مـن قوة محلية معينـة. كما تظهـر المزيد مـن البيانات الإحصائيـة، وسوف نكسب بصيرة أكـثر وضوحا في التفاعلات البشرية التي تضع علامة على المدينة.

مستقبل المدن الكبرى

قوانـين وفورات الحجـم والإنتاجية المتسارعة تساعدنـا أيضا على فهم كيـف يمكن لمدينـة أن تنمو، وهو عامل مهم للغاية عنـد النظر في الأسئلة التـي أثيرت في بداية هذا الفصل بشأن مستقبل مدننا. القانونين يمثلان في الواقع قوات متناقضة. قانون معجل الإنتاجية يجعل الأمر جاذبا للانتقال إلى المدينـة. كفرد، تكسـب أكثر؛ كشركة، يمكنك تحقيـق زيادة الإنتاج. يجتذب النمـو النمو. الثروة، والإبداع، والابتـكار، وغيرها من الفواكه للفاعـل الإنسـان تولـد ردود الفعـل الإيجابية التي تجـذب الناس بمعدل متزايـد. كلما كانت المدينـة أكبر، كلما كانت أكثر جاذبيـة، الفكرة التي نتنقلهـا في زمننا. عندما تحضر في جميـع أنحاء الدنيا، العالم يسير بوتيرة لا

تصدق. قانون وفورات الحجم، من ناحية أخرى، يقيد هذا النمو.

المدينــة الأكبر لديها بنية تحتية أقــل للفرد الواحد. قد تكون ميزة إذا كان الجميع يقتصد في استخدامها، مثل الحيوانات التي تعيش أكبر أبطأ الحياة، ولكن وتيرة الزيادة المطردة التــي يمليها قانون من يمارس الإنتاجية تسارع تنامــي الضغوط على البنية التحتية المادية للمدن. كلما تنمو المدينة، يصبح من المستحيــل توسيع الشرايين من دون قطع عميــق في النسيج الحضري. بعيدا عن التباطؤ، تجد الناس نفسها أكثر وأكثر تكافح من أجل مكانها في الشوارع المكتظة وخطوط النقل العام.

في ضوء ذلك، من المدهش أن المدينة نجحت في عقد نفسها معا والحفاظ علــى النمو. إنه من الأسهل جعل الترتيبات الجديدة في بلدة صغيرة مما هو عليــه في واحــدة كبيرة، مما يجعل من المنطقي تــرك المدينة إن لم يكن هناك مــا يربطك بهــا. ولكن من الواضــح أن جذب الإنتاجيــة سريع الارتفاع إلى درجــة أن الناس مستعــدون لاحتمال الطرقــات المزدحمة باستمرار. والتسوية هي الضواحــي: يستطيع الناس العيش في الليل بكثافة منخفضة نسبيــا وخلال النهار الاستفادة من الكثافة التي تقدمها المدينة. ولكن هذا أيضا يزيد الضغط على شبكات النقل. هذا هو الجذب من نسيج الإنسان، إذن، أن يربط المدينة معا. في المدى الطويل، هذا ليس مستداما. كم أسرع يمكنــك أن تصبح؟ في بعضــ المدن، فإن وتيرة الحيــاة والضغط على البنية التحتية هي قريبة فعلا إلى حد لا يطاق.

يجــب على العمال التكيف مع هذا الإيقــاع السريع. الياباني لديه كلمة خاصــة بالنسبة لشخص يعمل إلى حد الموت (كارشي). نلجأ إلى المدربين

الشخصيين ومدربي اليوغا لمساعدتنا من خلال الحصول على الحياة في المناطق الحضرية. وهل ستنمو المدن بنفسها إلى الشريان التاجي؟ هناك، بعد كل شيء، الحد الأعلى على مدى السرعة التي يمكن تشغيلها من المارة. سيتم التوصل إلى النقطة التي يتفوق فيها الكائن الحضري على الإنسان. في نقطة ما، هل يصبح التنافر في المساحة المكتظة قوي بحيث يؤدي إلى انهيار المدينة؟

هذا يقودنا إلى السؤال المركزي في هذا الفصل: كيف يمكننا الحفاظ على مدننا صالحة للسكن؟ (تتجنب المدن الأزمة من خلال إعادة اختراع نفسها،) لويس يفكر. (إن تغير الطريقة التي تعمل فيها. ليست بدعة تستخدم فقط لصنع منتجات جديدة ولكن أيضا إلى تغيير البنية التحتية الحضرية وطريقة عيش الناس وعملهم). أكبر المدن هي الأولى لبناء خطوط السكك الحديدية والطرق السريعة تحت الأرض، وتغيير أنماط العمل على التكيف مع ضغوط البيئة الحضرية. (إن المدن تحتاج إلى الابتكار للتغلب على القيود المفروضة على النسيج الحضري)، يؤكد بيتينكورت ذاكراً ن نيويورك على سبيل المثال.

على مدى السنوات المئتين الماضية، استمر عدد السكان على الدوام تقريبا في النمو ولكن ليس بمعدل ثابت. ارتفع النمو وصولا إلى الهجرة، وصناعة النسيج، والصناعات التحويلية الأخرى في أوائل القرن العشرين، وعلى وسائل الإعلام والنشاط في الدوت كوم. عندما كان النمو سريع للغاية بالنسبة للديناميات الداخلية للمدينة، رأيت دائما التغيير. لم تكن المدن لتتمكن من الحفاظ على صناعة مستدامة من دون التكنولوجيا

لتنظيف الدخان المتصاعد من مداخن، أو الحد من الاكتظاظ. عندما انفجرت الجريمة بسبب قدوم الكثير من سكان الجديدة في السبعينيات، أوجد نهجا جديدة لإنفاذ القانون في نهاية المطاف إلى مستوى مقبول. لذا يحافظ الابتكار على المدينة، ويجعلها تتغير وتتزايد.. وهناك نمط في تلك الابتكارات. للحفاظ على نموها، ينبغي أن يكون للمدينة وتيرة متزايدة من الابتكار. كلما زاد عدد السكان، كلما كلن الوقت أقصر للأزمة المقبلة وازدادت الحاجة إلى الابتكار المقبل. سوف يواجه السكان في نيويورك ومدن كبيرة أخرى اليوم عدة تغييرات كبيرة في حياتهم.

رأى بيتينكورت هذا النمط في البيانات التاريخية من نيويورك. لكنه استخلص منها أيضا العوامل الجاذبة والعوامل المنفرة في المدن. (إنها ديناميكية غير مستقرة. كنت في حلقة مفرغة، ولقد جعل التغيير تلو الآخر المدينة تتعقد. لا بد من العمل المستمر لضمان أن تكون الأمور جيدة حول مدينة وإبقاء السيطرة على الأمور السيئة. خلاف ذلك، سوف تواجه الانهيار)، وقد حدث شيئا مماثلا بالفعل مع مدن مثل بوفالو، بيتسبرغ، وكليفلاند، والتي تقلصت منذ عام 1960. فشلوا في اكتشاف دورة الابتكار المقبل، وسمحوا الردود الفعل السلبية بالترسخ وبالتالي صد الناس عن المدينة.

هل هناك شيء يمكننا القيام به لتحويل المدن بعيدا عن نمطها المتسارع في النمو؟ (لقد بدأنا فقط للتو بفهم الآليات وراء هذا النمو)، يعترف بيتينكورت. (نحتاج إلى أكثر بكثير من النظرية، وإلى العديد من النماذج والعديد من البيانات الضرورية. ولكن الأمر يقود في نهاية المطاف إلى

مسألة ما إذا كان بإمكاننا وقف تسارع وتيرة النمو. سنستمر في الابتكار: هـذا جزء من الكائن البشري. ووقف الابتكار سيكون ضد طبيعتنا. ولكن هـذا التسارع المتواصل هو الذي يجب أن يتوقف. ربما في يوم من الأيام، عندمـا يجعل التركيز التكنولوجيا ممكنة أكـثر من دون ازدحام. ربما حتى القـرب الجسدي لم يعد ضروريـا للحفاظ على إنتاجيـة متسارعة. سوف ننظـر إلى الوراء في بداية القرن الحادي والعشرين كالعصر الذهبي للمدينة، يشوبه بعضـ من أكبر التحديات التي واجهـت جنسنا أكثر من أي وقت مضى، وفي الوقت نفسه تميزت ببعض إنجازاتها العظيمة).

نحو مدن مستدامة

وتتجـه الكثير من المحـاكاة الحاسوبيـة والبيانات لفهـم أفضل للنسيج البشـري للمدن. الواضح أن الوتيرة العالية مـن الابتكار لا تشبه أي شيء في مملكـة الحيـوان. إذا كانت المـدن مثل الكائنات الحيـة، لكانت خلت بالفعل. وقـد يشبه النمو العضوي للبنية التحتيـة المادية الأنماط التي نراها في الطبيعـة، ولكـن التفاعل بين البشر لا. النتائج التـي توصل إليها لويس وزملاؤه تذكرنا بالعديد من الشبكات التي واجهتنا في هذا الكتاب.

ويمكـن للحلول التي تم تحديدها في تلـك الحالات الأخرى، بالتالي، أن تكون مفيدة في التفكير في مستقبل مدننا أيضا. تعرض شبكات الاتصال بعضـ أوجه التشابه مع النسيج البشري من المـدن، وتبادل المعلومات هو ما يحدد قانـون المعجل الإنتاجية. الشبـكات الاتصالات هذه تشكل ما يسميه عالم الاجتماع الحضري مانويل كاستلز بـ (مساحة لتدفقات) تبادل

المعلومـات المستخدمة في التنسيق في الوقت الحقيقي لمسافات طويلة، من الاقتصاد[1]. تصوّر المدينة كعقدة في شبكة الإنترنت العالمية.

بـدلا من أزيز أجهـزة الكمبيوتر في مركـز البيانات، هنـاك أناس وأفراد يتبادلـون الأفـكار والمعرفة. هنـاك تشابهـات مذهلة مع مراكـز الإنترنت التـي تقوم بجمع ومعالجة وتغيير وتدفـق البيانات. توزيع حجم المحاور في الإنترنت يتبع قانون التحجيم الذي يشبه إلى حد كبير القانون بالنسبة للمدن. هناك أوجه تشابه كثيرة بين التوسع العمراني وتطور شبكات الاتصالات.

معالجة المعلومات في هذه المحاور هو أسرع من زيادة عدد نقاط الوصول إلى الإنترنـت، مثلما الإنتاجية في المدن تنمـو بسرعة أكبر من عدد السكان فيهـا. ومن المثير للاهتمام أن نـرى كيف تتعامل أجهزة الكمبيوتر مع وتيرة متزايـدة من الاتصالات. كان الحل التقليدي في مجال الإلكترونيات الدقيقة على مدار الساعة زيادة سرعات المعالجات التي تصبح أكثر إحكاما للحد من أوقـات التفاعل. هذا مجرد مثل للمدن التي تصبح أسرع عندما تصبح أكبر. الرقائـق أيضا ساهمت في تحسين استخـدام البعد الثالث، ومرة أخرى تماما مثـل المدن. دخل هذا التطور في مجـال الإلكترونيات الدقيقة المتوقفة حول مطلـع الألفية الثالثة عندما أصبحت وتيرتها عاليـة جدا، لدرجة أنه تسبب في ارتفاع درجة حرارة الرقائق. وقد تم التوصل إلى الحدود المادية للمواد.

نحـن بالمثل نتوصل للحـدود المادية لقدرة الإنسان علـى العمل في المدن.

---

(1) Castells، M. (2000). The rise of the network society، 2nd ed. Oxford، UK: Blackwell Publishers.

وسوف يكون من الصعب المشي أسرع بكثير مما يمكن للناس في طوكيو القيام بالأمـر. يمكن للمعالجات أن تزيد سرعتها عن طريق استخدام النوى التنفيذية المتعددة التي تعمل بشكل متواز. وهذا يكون مثلا في المدن مع مراكز متعددة أو المدن المجاورة مثل التي تكون متكاملة عن كثب، وتوزع العمل ما بينها. في مجـال الإلكترونيات الدقيقـة، فإنه عادة لا يدفع لديها أكثر من ثمانية نوى موازية لأن التعقيد المتسارع للتفاعلات يميل إلى إلغاء المكاسب.

وبالتـالي، فإن هناك حدودا على ما يمكنك القيام به في محاور أكبر شبكة الإنترنت، حيث إن المزيد مـن النمو يصبح من الصعب على نحو متزايد. النتيجـة هي أن أحد أصغـر المحاور تكتسب أهميـة. لم يعد أقوى نمو في مراكـز البيانات في طوكيو، لندن، أو نيويورك ولكن في الطبقة الثانية من المحـاور، والتـي هي إقامة علاقـات متبادلة مباشرة لتجنـب أكبر المراكز. بعد كل شـيء، هذه كلها مراكز البيانات والخبرات والتسهيلات اللازمة، وخطوط الاتصالات الإضافية التـي من السهل الحصول عليها. خدمات الكمبيوتـر فقط حيث كل ملي ثانية واحدة مـن التهم التفاعل في الوقت ستستمر في استخدام أكبر المراكز. هذا التطور هو السبب في أن وصلات شبكـة الإنترنت ظلت تنمـو أكثر كثافة منذ حـوالي 2001[1] لتجاوز أكبر المراكز[2].

(1) Dhamdhere، A.، and Dovrolis، C. (2008). Ten years in the evolution of the Internet ecosystem. Proceedings of the eighth ACM SIGCOMM conference on Internet measurement، 183–196.

(2) Townsend، A. M. (2001). Network cities and the global structure of the Internet. American Behavioral Scientist، 44(10)، 1697–1716.

بطريقة مماثلة، قد نتوقع من أكبر المدن التخصص في المهام تفاعلية، وهو بالضبط ما لاحظه الجغرافيون الحضريون مثل ساسكيا ساسن. كانت بعض مـن هذه (المدن العملاقة) قد تم إعـادة تخصيصها في الأعمال التي تحتاج إلى القـرب من التجمعات السكنية العالية بوتيرة جيدة متصلة، في المناطق الحضريـة. ساسـين[1] يركز بشكل خاص على التمويـل العالي، مع أنشطة أخرى في أماكن أخرى تبحث بشكل متزايد، وهو أمر من شأنه أن يؤدي في نهاية المطاف إلى نمو أكبر المدن. ما هو أكثر من ذلك، فإن الاعتماد على قطاعـات قليلة بوتيرة عالية يجعل المدن الكبرى المعرضة للخطر. يبقى أن نـرى، على سبيل المثال، وكيف أنهـا ستتجاوز الأزمة المصرفية التي بدأت في عام 2008.

تفادي الانهيار

شهد تطوير مراكز الحاسب الآلي في الثمانينيات نتيجة أكثر تطرفا. كما نمت الحواسيـب القوية بشكل متزايد خلال السنـوات العشر السابقة، إذ انتقلوا إلى مراكز كمبيوتر مركزية. أدى المر إلى تقاسم الموارد والتكلفة من بين العديد من المستخدمين، لتجاوز الإزعاج من الوصول البعيد وجدولة المهـام الحسابية المعقدة. هـذا يذكرنا مرة أخرى بالمـدن، حيث الإنتاجية المتسارعة تجعلنا تتسامح مع وجود كل شيء مزعج ومكتظ معا.

(1) Sassen، S. (2001). The global city: New York، London، Tokyo. 2nd edition. Princ-eton، N.J.: Princeton University Press.

وجـاء هذا النمط إلى نهاية مفاجئة مع ظهور أجهزة الكمبيوتر الشخصية والشبكات الرخيصة، وهو ما أدى إلى انهيار مفاجئ لهذه المراكز الكمبيوتر. تم تفكيكها واحدة تلو الأخرى، وترك المناخ المسيطر في الغرف مجردا كما في وسط مدينة ديترويت. فمن الممكن تماما أن المدن الكبيرة إلى المجتمعات الصغيرة مثل مجتمعات الحاسوب مع اتصالات متبادلة قوية تتجزأ.

لقد مرت عشرون سنة منذ مجيء الكومبيوتر المحمول –الخلود في تاريخ الحوسبة–. العلماء يعملـون الآن بجد لتقديم أكثر من محور إنترنت. يمكن أن تستبـدل الإلكترونيات بالأجهزة التـي تعالج مباشرة الضوء الذي تنقله كابـلات الألياف البصرية. هـذا لديه القدرة على تسريـع التفاعل وتقليل كميـة الحرارة التي يتـم إنشاؤها. والتطوير المقابل يكـون في المدن لتعزيز قدرة النـاس على التواصل من دون مشاكل، وليس من خلال تغيير طبيعة الإنسان، ولكن بطريقة سحرية عن طريق تعزيز أدائنا. ويمكن أن يتم ذلك، علـى سبيل المثال، من خلال توفير الأدوات اللازمة لتولي بعض الأعمال. ويمكن أن تترك جزءا روتينيا من التفاعل بين البشر إلى الآلات، وتحريرنا من كل أنواع المهام الإدارية ووضع مزيد من التركيز على قدراتنا والإبداع.

فإن هذا لن يقلل من الحاجة لمعرفة كل منهما الآخر. على العكس من ذلك، يحتـاج الأمـر إلى التفاعل الشخصي الذي قد يكون كثيفـا وفي متناول اليد. في الوقت الراهن، لا يزال يتطلب منا أن نعيش على مقربة من بعضنا البعض. في المستقبـل، على النقيض مـن ذلك، يمكن لمرافق الاتصـالات ذات النطاق العريـض أن تمكننا من الاختلاط مع غيرنا من البشر تقريبا في الوقت الحقيقي، وعلـى الحجم الحقيقي، مما يسمح لنا بـ (تطويق) أنفسنا مع الآخرين حتى ولو

كانوا موجودين فعليا بعيدا. تزيد قدرات الاتصالات الجديدة في الوقت نفسه تعقيد المشاريع والوتيرة التي يمكن الاضطلاع بها، وهو ما يفسر ربما سبب سن النمو الحضري المتزامن مع ظهور عصر المعلومات. استعارة شبكة الكمبيوتر تقدم انطباعا عن كيفية تتطور مدننا نحو مزيد من الاستقرار ونمو أقل تفجرا ولكن أيضا نحو الانهيار. يعلمنا نهج الشبكة بشكل واضح شيئا عن مستقبل المدن، وهذا هو السبب وراء متابعته بشكل مكثف[1].

سيناريوهات الكوارث

ويعتبر إعصاراً يضرب الساحل الصيني مميتاً عشرة أضعاف أكثر من إعصار يضرب الولايات المتحدة[2]. وقد يكون عدد الضحايا الأميركيين أقل بسبب الاحتياطات الإضافية الأكثر حذراً، ونظم الإنذار، وطرق الإخلاء. ويمكن للرصد الأكثر فعالية والاتصالات إنقاذ الأرواح. منذ حوالي قرن من الزمان، قتل حوالي 7000 أميركي من جراء الأعاصير كل عام، في حين أن هناك في الوقت الحاضر عدد قليل جدا من الأعاصير المميتة كإعصار كاترينا.

ويأسف غاس بيرخوت لأن هذا التقدم لم يصل بعد إلى كل ركن من أركان الأرض. وقد تابع هذا الجيوفيزيائي الهولندي عن كثب آليات الكوارث والوقاية من الكوارث منذ بداية إنتاجه العلمي الأول الوظيفي كأستاذ التصوير الزلزالي

(1) Batty، M. (2008).The size، scale، and shape of cities.Science، 319(5864)، 769–771; Batty، M. (2005). Cities and complexity: Understanding cities with cellular automata، agent–based models، and fractals. Cambridge، Mass.، and London: MIT Press.

(2) Dilley، M.، Chen، R. S.، and Deichmann، U. (2005). Natural disaster hotspots: A global risk analysis. Washington، D.C.: World Bank Publications.

في بداية الأمر، وفي وقت لاحق، كأستاذ للابتكار في جامعة دلفت للتكنولوجيا في هولندا. وقد تحدثنا معه في حرم الجامعة الذي يقع 3 أمتار تحت مستوى سطح البحر. في مختبره، يحلل بيرخوت نظم الإنذار المبكر وخطط الطوارئ التي ستكون لازمة لحماية كل من في المختبر. (لا يمكننا أن نوقف الزلازل والثورات البركانية والأعاصير وموجات المد من الحدوث)، يشدد بيرخوت.

(وقد لا نستطيع أبداً أن نكون قادرين على التنبؤ بالأعاصير أو الزلازل بدقة كافية. ولا يمكن أن نأمل في أن نمنع الناس من العيش في أماكن خطرة. أنها ببساطة أماكن جذابة للغاية)، بحسب بيرخوت.

في الواقع، يبدو البشر مدمنين على العيش على حافة الكارثة. وقد حسب البنك الدولي أن خمس الدول فقط هي تحت تهديد دائم من الكوارث الطبيعية، مع نحو 3.4 بليون شخص، أي ما يقرب من نصف سكان العالم، وهم عرضة لمخاطر متزايدة للقتل من جانب واحد[1]. مع ذلك، غالباً ما تكون المناطق الغير آمنة أماكن شعبية استثنائية للعيش والعمل، والسبب هو أن السهول الفيضية وسفوح البراكين خصبة للغاية. يكون المناخ أكثر اعتدالا على طول الساحل، كما تكون التربة أفضل.

حتى احتمال وقوع الزلازل ليس كافيا لإقناع الناس بالعيش في مكان آخر، كما شهدت من قبل بعض من أكثر المناطق المكتظة بالسكان في ولاية كاليفورنيا واليابان. الهجرة الحالية تسير إلى حيث تكمن اتجاهات العمل، وتشير إلى أن نسبة السكان الذين يعيشون في مناطق غير آمنة ستزداد فقط.

---

(1) Ibid.

وتبـدو الفوائد فورية للعيش في مكان معين في كثير من الأحيان أقوى من الاحتمالات الغامضة لبعض الكوارث في المستقبل. هذا هو السبب في أن الكثير من الناس مستعدون على ما يبدو ليضعوا أنفسهم في طريق الأذى.

رأيناه قادماً

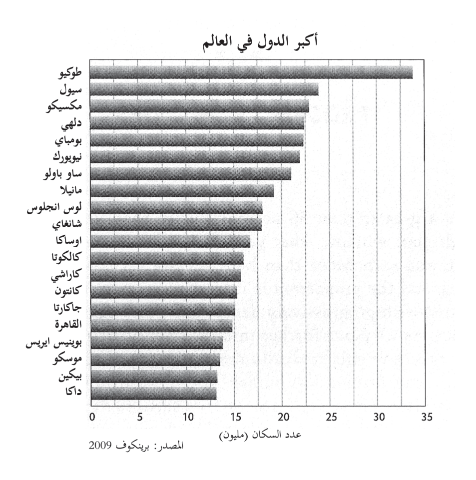
(الأمـر الأساسي الذي يمكننـا أن نقوم به هو الكشف المبكر والتخفيف من آثـار الزلازل ليكـون للناس فرصة أكـبر في الإفلات بحياتهـم)، يقول غاس بيرخـوت. (أتصور نظامـا عالميا من أجهزة الاستشعـار الذكية والمستجيبين؛ تحتـاج إلى معرفـة ما يجـري بالضبط على كل مـن الفضاء وسطـح الأرض، وتحتها. تجمع بعد ذلك كل هذه البياناتويتم التصرف على أساسها).

(التكنولوجيـا الضرورية موجودة فعلياً)، يقـول بيرخوت، ذاكرا الكشف السريع الذي يتم بصورة روتينية باسم معاهدة الحظر الشامل للتجارب النووية.

تدير المنظمـة شبكة عالمية من أجهزة قياس الموجات فوق الصوتية للكشف عن تصميم التجارب النووية. النظام حساس لدرجة أنه يسجل أيضا الموجات عند استخدام الصيادين للديناميت لتعزيز صيدهم أو عند جزء من جبل جليد. التقطـت أجهزة المراقبة على الفور الزلزال الذي أطلقت عليه تسمية تسونامي في 26 ديسمبر 2004. لكن المنظمة كانت مكلفة فقط بمراقبة التجارب النووية، وبالتـالي كان غير قادر على تحذيـر اندونيسيا وسريلانكا، والهند من موجات المد والجزر التي غرقت فيها في وقت لاحق حوالي 230 ألف نسمة[1].

(1) Tsunamis' aftermath/warning signals، but no warnings: Early data on Asian quake went unnoticed in Vienna. International Herald Tribune (December 29، 2004).

وقد تم توسيـع صلاحيات ومهام المنظمة منذ ذلـك الحين لتشمل أيضاً القـدرة على إصـدار تحذيرات تسونامي. (ولكن هـذه البداية فحسب)، بحسـب بيرخوت. (يجب علينا توسيع نطاق هـذه التكنولوجيا لالتقاط إشارات من كوارث وشيكة أخرى كذلك)، يضيف بيرخوت، مشيراً إلى مثـال اليابان، حيث تم وضع نظـام يستغل الواقع أن الهزات تستغرق وقتا طويـلا في السفر من خلال قشرة الأرض. لديك بضع ثوان للخروج من المبنى. وكان التحذير 16 ثانية عندما ضرب زلزال مدينة سنداي اليابانية في عام 2005، وهو ما يكفي لإخلاء المدرسة بنجاح[1]. كل هذا بطبيعة الحال يتطلـب قدرا كبيرا من الانضباط بالإضافـة إلى اتصالات سريعة بشكل لا يصدق.



(1) McNicol، T. Japan lays groundwork for national earthquake warning system. Japan Media Review (April 13، 2006).

أعنف الكوارث لا تزال تحدث في أفقر مناطق العالم. الثروة والاستعداد لمواجهة الكوارث تسير جنبا إلى جنب. التحدي الذي يواجهنا هو تثبيت عالمية موثوق بها من الكوارث ونظم الإنذار لمساعدة المجتمعات المحلية على تحسين سلامتهم. المصدر: قاعدة بيانات الكوارث الدولية، 2009. http://vermeer.net/disaster

يمكن للأقمار الصناعية أن تساعد على توفير الإنذار المبكر من خلال ملاحظة الظواهر الكهربائية التي تسبق على الفور وقوع زلزال. وهذا من شأنه أن يعطي للناس بضع ثوان إضافية.

ويتابع بيرخوت (في الوقت الحاضر، إننا نقوم بدمج بيانات الرصد على نحو متزايد مع نماذج علمية للتنبوء بالمستقبل القريب. هذا يعطينا القدرة على اتخاذ الإجراءات الطارئة قبل نفاذ الوقت. في الواقع، يدرك العلماء أكثر وأكثر أن الاختبار النهائي لنماذجها لا يجب أن يتناسب مع قياسات الماضي، ولكن التنبوء بأحداث المستقبل. ومن الأمثلة ذات الصلة هو تغير المناخ. قوة التنبوء بالنماذج المناخية اليوم غير كافية حتى الآن، مما يتسبب في التحديث المستمر لنتائج التنبوء في المرحلة التاريخ مطابقة. وتلعب هذه المشكلة دورا هاما في النقاش العلمي حول تغير المناخ.

جمود التنظيم

مما لا شك فيه، يساعد نشر المزيد من أجهزة الاستشعار والنماذج الأفضل في ملء الثغرات في الاستخبارات لدينا. ومع ذلك، يجادل

بيرخوت بأن تحويل جميع المعلومات المتاحة إلى أعمال أمر أكثر أهمية. (الاستجابة السريعة ليست فقط مسألة الإنذار المبكر من خلال تحسين التنبـؤ. عندما يتعلق الأمـر بالعمل، نميل إلى الحصـول على معلومات مجزأة في هذه العملية، وتقسيمه بين مختلف المناطق والمنظمات. ولكن مـن الصعب تبـادل المعلومات بسبـب عدم التوافق بـين مختلف البنى التحتية).

وليس هناك أبدا أي اتفـاق مناسب حول من يتحمل المسؤولية الكاملة في حـال وقوع كارثة. حتى لو كنـت قد جمعت كل هذه المعلومات، لن تكـون هناك مشـاكل في الاتصال بسلسلـة القيادة في الوقـت المناسب. التسلسل الهرمي لصنع القرار بصيغته الحالية ليس فقط بطيئا للغاية، ولكن ضعيف جدا. بسبب نظامه التسلسلي، قد يشكل فشل إحدى حلقاته إلى إفشال متانة السلسلة بأكملها.

هذا الأمر الذي كان واضحا بشكل مؤلم كثيرا في أعقاب كارثة تسونامي عام 2004. قـرر عمال الأرصاد الجوية التايلاندية الذين يحصلون على ما يصل من معلومات حول تاريخ وقوع الزلزال ألا يدقوا ناقوس الخطر لأنهم لم يعتقـدوا أن الإشارات كانت واضحة بما فيه الكفاية. وبالتالي، قد يفشل النظام التسلسلي بأكملـه بسبب خطأ بسيط واحد أو نتيجة لقرار واحد. وبالتالي، تعتبر عمليات صنع القرار حاسمة، وهذا ينطبق أيضا على تنسيق أعمـال الإغاثـة. على الرغم من وجـود الكثير من التحذيـر والإغاثة من الكـوارث في نيو أورليانز، تسببت الفوضى في هيكل القيادة الهرمية بمنع اتخاذ القرار الصائـب. الدراسات الأخيرة أظهرت أن عاصفة في هولندا

يمكنها أن يخلق الآلاف مـن الضحايا بسبب الجمود التنظيمي[1]. هولندا بلد منخفضة ومنذ العصور الوسطى من خلال النضال المستمر مع البحر. فهـي تدرك الآن أنهـا تخاطر بفقدان تلك المعركة بسبـب التعقيد المتزايد للمجتمـع الذي يتخذ القرارات وإجلاء الكثير مـن الوقت لتنفيذه. ويقع مختبر بيرخوت في منطقة الخطر.

التنظيم الذاتي

ويضيف بيرخوت بأن خطط الطوارئ الحالية لا تزال تتميز بعملية خطية وشاقـة تتبع بروتوكولات صارمة. (إن الأشخاصـ المعنيين لم يكن لديهم كل المعلومـات التي يحتاجونها لاتخاذ قرار في الارتجال للاستجابة لشيء غير منظور. في نيو أورليانز، على سبيل المثال، قرر شخص ما في التسلسل القيادي تفريـغ سوبر ماركت مغمورة بحيث يمكـن اتخاذها الإمدادات إلى مركز استقبال. الفكرة مفيدة، ولكن هل ينبغي أن تكون أولوية؟ بات لديك أيضا الوضع فجأة حيث تم تحويل الجنود الذين كان من المفترض أن تكـون مهامهم ملء أكياس الرمل لأداء مهام أخرى، مثل حيوانات الصيد خـارج الميـاه. مرة أخرى، أدركنـا شيئا من المفيد القيام بـه، لكن لا أحد يستطيع القول بأن تلك كانت المهمة الأكثر إلحاحا في ذلك لحظة معينة).

الشبـكات الهرميـة تعمـل فقـط عندما تكـون هناك بعضـ المفاجآت

(1) Jonkman، S. N. (2007). Loss of life estimation in flood risk assessment— Theory and applications. PhD thesis، Delft University، the Netherlands.

والإخفاقـات قليلـة[1]. لكن المفاجـآت والفشل هـي بالضبط ما يحدث أثنـاء وقوع كارثة. (الأوامر الهرمية في ظل القيادة المركزية تصل حتما في وقت متأخـر جدا أو ليس على الجميع اتّباعها عندمـا يتعلق الأمر الإغاثة مـن الكوارث)، يفسـر بيرخوت. وصلات المعلومـات زائدة عن الحاجة وبالتالي من الضروري التعويض عن المعلومات المفقودة. الهيكل التنظيمي الأمثل ليس آليـا: على غرار الابتكار[2]، واللامركزيـة، وشبكة العضوي هو أقوى عندمـا يتعلق الأمر بالتعامل مع الأحداث غير المتوقعة والبيانات الناقصة.

يجب عليك التأكد مـن أن الناس العاديين قادرين على اتخاذ القرارات بأنفسهم حين اندلاع الأزمة. إدارة الأزمات يجب أن تكون إلى حد كبير ذاتيـة التنظيم أو مرنة. وينبغي على سلسلة القيادة أن تقلق فقط على إدارة الموارد واتخاذ القرارات الإستراتيجية. وبعبارة أخرى، بل هو ميزان وعي الوضع (في الموقع) ونظـرة عامة على الكل (في مركز القيادة. ويجب أن

(1) Helbing، D.، Ammoser، H.، and Kühnert، C. (2006). Information fl ows in hierarchi–cal networks and the capability of organizations to successfully respond to failures، crises، and disasters. Physica A، 363(1)، 141–150; Buzna، L.، Peters، K.، Ammoser، H.، Kühnert، C.، and Helbing، D. (2007).Efficient response to cascading disaster spread–ing. Physical Review E، 75(5)، 56107–56108; Dodds، P. S.، Watts، D. J.، and Sabel، C. F. (2003). Information exchange and the robustness of organizational networks. Proceedings of the National Academy of Sciences، 100(21)، 12516–12521; Helbing، D.، and Kühnert، C. (2003). Assessing interaction networks with applications to ca–tastrophe dynamics and disaster management. Physica A: Theoretical and Statistical Physics، 328(3–4)، 584–606.

(2) Berkhout، A. J. (2000). The cyclic model of innovation. Delft، the Netherlands: Delft University Press.

ينطــوي الأمر على تغيير كبير في هــذا النوع مــن الأدوات والتنظيم التي تحتاج إليها، ناهيك عن التحول الثقافي الكبير).

ويعتقد بيرخــوت أن المعلومات الحديثة وتكنولوجيــا الاتصالات تسرع نحو التحول الثقــافي إلى درجة عالية من التنظيم الذاتي. وقد بدأت بالفعل التجــارب التــي تجري علــى سيــارات الشرطة يظهــر حيث يقــع الضباط الآخريــن. أنها تشبه الشبــكات الاجتماعية على الانترنــت مثل الفيسبوك وتويتر، ولينكد، وتسمح للمستخدمين العثور على شخص في حيهم. غرفة التحكــم لم تعد تملك أن تقرر من هو الأقــرب للحادث، ويمكن للدوريات فعل ذلك بأنفسهم.بمساعدة أجهزة الكمبيوتر الخاصة بهم على متن الطائرة.

كذلــك، عندما يبــدأ تهديد الكوارث، يمكن للنــاس أن يجدوا طريقهم الخاصة إلى مركز الإخلاء. (نحــن نحتاج إلى مال أقل وأشخاص أسرع)، يقول بيرخوت. يتم تطوير تقنيات التعاون الذاتية التنظيم.بما فيه كفاية الآن بالنسبة لنــا لوضعها موضع التنفيذ. سيكون ذلك اختراقا حقيقيا في مجال السلامة. وهناك حاجة ماســة إليها، أيضا، لأن المجتمع هو عبارة عن بناء مزيــد من التعقيــد في كل وقت. وهذا يعني أن زيادة الجمــود إلا إذا بات بإمكان المزيد من الناس الحصول على المعلومات.

إبلاغ الجميع

ومن الواضح أن لتفاصيل إجلاء الناس لأنفسهم ومخاطرها المحتملة. ربما كل أنــواع التفاعلات غير متوقعة وقوية النمو. قد يبدأ الناس بالركض وراء بعضهم البعض، وكما هو الحال في أي نظام آخر الديناميكية المعقدة، يمكن

أن يصبح الوضع غير مستقر من الناحية النظرية، ليصل حتى إلى الفوضوية.

ويضيف بيرخوت هذا لن يحدث طالما لا تزال قرارات الماكرو التي تبذل على المستوى الإستراتيجي. (ما هو أكثر من ذلك، القرارات المحلية لا تكون كلها عقلانية، شريطة أن الغالبية منها كذلك. الاتصالات المكثفة سوف تؤكد أن الجميع على المسافة نفسها. أنها نفس النوع من التسوية التي تراها على الطريق السريع، حيث يقرر الجميع في أي اتجاه يذهب المحرك. على الرغم من السرعات العالية، يمكن للسيارة السفر بأمان عن طريق تعديلات طفيفة على الدوام بالنسبة إلى بعضها البعض. أنها ظاهرة تسمى بالحشد الذكي).

بالتأكيد، يمكن أيضا أن تتخذ الأسراب منعطفا خاطئا. لا ينبغي لنا أن نخاف من الطريقة التي تصل فيها وسائل الإعلام إلى جلد الناس في مواجهة كارثة وشيكة، مما يتسبب في اندفاع الجميع إلى الخروج في نفس الاتجاه مثل القوارض؟ ليس وفقا لبيرخوت الذي يقول إن (وسائل الإعلام تتصرف بهذه الطريقة فقط عندما لا يكون هناك ما يكفي من المعلومات الحقيقية المتاحة. إذا كانت القوارض تعرف إلى أين هي متجهة، فإنها لن القفز إلى الهاوية).

إذا كان للجميع حق الوصول إلى المعلومات نفسها، وليس هناك مجال لمزيد من التكهنات، لن يتمكن أن الصحفيين من بناء قاعدة لتقاريره. قد يرى الناس لأنفسهم ما استند على أرقام الخسائر المقدرة. إننا نشهد بالفعل مع الثقافة الجديدة كيف بات الناس صحافيون لأنفسهم. وقد بدأنا نفهم أنه عليك إشراك وسائل الإعلام والجمهور في إدارة الأزمات. أنهم جزء من سلسلة من المعلومات.

ويؤكد بيرخوت (يتم الآن التحقق من كل هذه الجوانب الهامة مع الحقل من الألعاب الخطيرة. نحن ندخل عصر المرجع في الحوسبة الرقمية، مما يتيح لنا لمحاكاة جميع أنواع الكوارث بطريقة واقعية جدا. كما أنها تتيح لنا تقييم مدى البديل في عمليات صنع القرار والعمل في مختلف السيناريوهات. هذه هي الطريقة التي ينبغي لنا أن نعد أنفسنا فيها لمواجهة الكوارث في المستقبل).

ستستمر الكوارث لدينا في عشرين عاما من الآن، وهذا أمر مؤكد. ولكن يمكننا التخفيف من آثارها بحيث يكون عدد أقل من ضحايا الكوارث، وفقا لبيرخوت. (النماذج العلمية الأفضل، تكنولوجيا التنبؤ الأفضل، ونوع من التنظيم يختلف اختلافا جوهريا، ستكون هناك حاجة إلى كل الثلاثة إذا كنا نريد الحد من الضحايا والأضرار. بل هو التزام أخلاقي للجميع لجعل كل شيء متاح مع إعطاء أولوية عالية).

5 - تمويل موثوق

عندما كنا نقوم بالصياغة الأولى من هذا الفصل، كان قد استولت فجأة على العالم أسوأ أزمة اقتصادية منذ عام 1930. وبعدما كنا قد كتبنا عن تأثير عدم الاستقرار، وثقافة المكافأة، وانفجار فقاعات مالية قد تترتب على مستقبلنا الجماعي، كان من المقلق أن نرى هذه الأفكار تقفز من صفحة وتعيث في الأرض فسادا في الاقتصاد العالمي. وبدل أن نغري المزيد من التوقعات في نصنا، لجأنا إلى جان فيليب بوشو، الخبير المالي والذي كنا قد ناقش احتمال هذا النوع بالتحديد من التطور المشؤوم قبل بضعة أشهر.

يعـرف بوشـو فقط كيف يمكـن أن يتحرك المال بسرعة. وقـد أقام نظم جهـاز الكمبيوتر الخاص به في ثلاث قـارات منفصلة، وأقرب إلى المراكز الماليـة الكبرى الممكنة، لأن الاتصالات بين القارات يمكن أن تتأخر بضعة ميلـي ثانية، ولكن التأخير مكلف إذ إنه ببساطة لا يمكن تحمله. (إن سرعة الأمـوال الساخنة هي قريبة من سرعة الضوء)، يقـول بوشو ممازحاً. (إنها تمويل نسبي).

كفيزيائـي، يدرك بوشو جيـدا القيود التي تفرضها نظريـة النسبية على أعمالنا. ولكن هذا لم يكن الوحي الوحيد الذي استمده من قوانين الطبيعة. يتـم التركيز علـى الفيزياء الأكثر تهذيبـا، والتي تستخـدم سلوك الذرات الفرديـة لشرح كيفيـة نشوء الظواهـر الجماعية مثل الموصليـة الكهربائية والمغناطيسية. في أيامنا هذه، هو أستاذ في مدرسة الفنون التطبيقية المرموقة في باريس، لكنـه بدأ بتطبيق معرفتـه عن الظواهر الجماعيـة للأسعار في الأسواق المالية لسنوات عديدة الآن.

مـع جان بيير مارك أغيلار ومارك بوترز، هو أحد مؤسسي مجلس إدارة صنـدوق رأس المـال، الذي نما بسرعـة أكبر وأنجح في صنـدوق التحوط فرنسـا. ما يجعل الصندوق ناجحاً هو ربما أن أفكار بوشو تختلف جذريا عن النهج القياسية التي طورها علماء الاقتصاد على مر السنين.

الاقتصاد كما نعرفه

نفذت كميـة كبيرة من البحوث في الخمسينيـات والستينيات لتحديد أنماط في الأسواق المالية. وأدى هذا إلى ارتفاع نظريات الاقتصاد (الكمي)

التـي تستخدمها البنـوك والمؤسسات المالية الآن بشـكل روتيني. وتمكّن النمـاذج الرياضية المرتبطة التجار من تحليل الأسـواق وأجهزة الكمبيوتر للتجـارة تلقائيـا. ولكن نجاح هذه النظريات الاقتصاديـة أثبت حتى الآن مخيباً للآمال، يلاحظ جان فيليب بوشو.

(مـاذا حقق الاقتصاد؟). مرارا وتكرارا، فقـد كان خبراء الاقتصاد غير قادرين على التنبؤ أو تفادي الأزمات، بما في ذلك أزمة الائتمان في جميع أنحـاء العالم في عاميّ 2007–2008. صدم صنـاع النماذج في عام 2007 عندما بـدأت الأسـواق المالية بعرض السلـوك الذي، وفقـا للمعتقدات الاقتصاديـة التقليدية، ينبغـي أن يكون قد حدث أقل مـن مرة واحدة في مليار سنة[1].

تحركـت الأسعـار في الاتجاه المعاكـس تماما عما توقّعـت النظرية. وقد شاهـد المستثمريـن الذين اعتقـدوا أنهم غطـوا المخاطر التـي يتعرضون لهـا أصولهـم تتبخر. وباتت برامـج الكمبيوتر التي تستخـدم النظريات الاقتصادية علـى التجارة تلقائيا فجأة لا قيمة لها. تحولت إلى كرة ثلج لها تأثير انهيار جليدي خارج وخـارج، لتقود بسرعة إلى انخفاض الأسعار. هـذه هي سمة سلوك النظام غير المستقر التي قـد ابتعدت كثيرا عنه، لتعبر عتبة حرجة ومن ثم تشغل أساسا خارج نطاق السيطرة.

وتفترض معيار النظرية أن العوامل الاقتصادية تستفيد بفعالية من جميع

---

(1) As David Viniar، CFO of Goldman Sachs، put it: “We were seeing things that were 25 standard deviation moves، several days in a row.” Financial Times (August 13، 2007).

المعلومات المتاحة. ويعتقد الخبراء أنهم يعرفون ما هي الأعمال التجارية، وبالتالي ينبغي أن يعرفوا أيضا ما تكلفة الحصة. من الناحية النظرية، الثمن هو دائما الرشيد: ترتفع قيمة الأعمال وتنخفض كما هو الأخبار عن استيعاب ذلك. يتم تشغيل التداول في السوق حتى يتم إحضارها مرة أخرى إلى أسعار التوازن. ويستند الاقتصاد الحديث بأكمله على هذا التوازن النظري. ادعى عالم الاقتصادي الأسكتلندي آدم سميث في وقت مبكر من 1776 أن هناك (يدا خفية) تحقق التوازن بين العرض والطلب والأسعار التي تعكس القيم الحقيقية دائما[1].

هذا أمر منطقي: لماذا قد يدفع أكثر المستثمرين لقطاع الأعمال مما هو عليه فعلا وهل يستحق الأمر المخاطرة برؤوس أموالهم؟ (إذا أخبرتنا أزمة عام 2008 شيئا)، فهو أن الكثير من الوكلاء تصرفوا بطريقة غير منطقية. فمن الخطأ أن نقول إن الناس يتخذون قرارات في عزلة على أساس الحكم الخاصة به والعقلانية الخاصة بهم. في جانب مخفي، فإن فكرة فعالية السوق الحرة والمعرفة والكمال تبدو أكثر مثل الدعاية المناهضة للشيوعية من مصداقية العلم. في كثير من الحالات، فإنه ليس التنظيم الحكومي الذي يدفع السوق للخروج من التوازن كما يريدنا أنصار السوق الحرة أن نعتقد.

(1) Milton Friedman and Eugene Fama developed this idea in the 1950s for the financial markets، and a great deal of investment know–how is based on it. The theory doesn't re–quire everyone to behave rationally: From time to time، someone makes an incorrect cal–culation، causing prices to fl uctuate a little. But this is a chance process generating random and small–scale financial market movements. Since there will always be shrewd investors who know how to take advantage of a price that is temporarily too high or too low، stan–dard theory dictates that they will drive the price back toward its correct equilibrium.

في أكــثر الأحيــان، فإنهم التجار أنفسهم. يقلــد الناس بعضهم البعض، وهــم يشعرون بالخوف أو يفرطــون في الثقة. التجار ليسوا على الإطلاق هيئــة مطلعة مــن المهنيين الذين يحققــون التوازن الصحيــح بينهم، وهذا يذكرنا بالأفكار التي قدمتها سوزان غرينفيلد. وربما، معظم التجار لديهم الكثــير من المعرفة وإنما هو الفهم الــكافي للقضايا الذي يعتبر ذات الصلة. مثل معظم الألعاب، يمكــن أن يتفاعلوا بسرعة مع الأحداث والملاحظات من دون الكثير من الاهتمام في هذا السياق.

يعتقــد أننــا في حاجة إلى نظريــة اقتصاديــة جديدة تأخــذ في الاعتبار اختــلال التوازن في السوق، إذا كنا نريد أن نفهم بشكل صحيح الآليات التــي يقوم عليها التداول. (إننا في حاجــة إلى نظرية يمكن أن تمثّل نموذجا للاعقلانية التجــار والمستهلكين، نظرية تتضمن العناصر الأساسية لكيفية سلــوك اقتصاد هومــو. ليس لدينا نظرية من هذا القبيــل، الأمر الذي يثير الدهشــة لأنه يبدو واضحا جــدا أن هناك عمليات دفع للأسعار للخروج من التوازن[1])[2].

(1) Bouchaud elaborates on this idea in an essay he wrote at the height of the 2008 financial crisis: Bouchaud، J.–P. (2008). Economics need a scientifi c revolution. Nature، 455، 1181. See also Bouchaud، J.–P. (2009). The (unfortunate) complexity of the economy. Physics World، 22، 28–31; Buchanan، M. (2009). Meltdown modelling. Nature، 460، 680–682; Farmer، J. D.، and Foley، D. (2009). Nature، 460، 685–686. The economy needs agent–based modelling.

(2) An illuminating discussion between a classical economist and a champion of nonlin– ear dynamics can be found in Farmer، J. D.، and Geanakoplos، J. (2008). The virtues and vices of equilibrium and the future of fi nancial economics، http://vermeer.net/cau



أسواق يقودها الخوف والجشع

واحدة من أكثر الأمور التي نحن بحاجة ماسة إلى القيام بها، بحسب جان فيليب فوشو، هي دمج رعي السلوك في النماذج. نحن نتعلم عن طريق التقليد، ومن المحتمل أن تكون هذه إستراتيجية بقاء جيدة. ولكن التقليد الأعمى هو الجانب الخطير، أيضا. يمكن أن تؤدي بنا إلى الظواهر الجماعية التي يصعب السيطرة عليها. لقد درست حالات بسيطة من التقليد الأعمى، مثل التصفيق. الناس في قاعة للحفلات الموسيقية حساسين لأشخاص آخرين. وقد تتوقع التصفيق للموت على نحو سلس. ولكن لأن الناس يستمعون إلى ما يفعله الآخرون، فإنه يتوقف في الواقع على نحو مفاجئ. لا أحد يريد أن يكون آخر شخص يصفق. ويمكن للمحاكاة أن تسبب تغيرات مفاجئة. إذا كان الناس في جمهور ولا يمكنهم أن يسمعوا بعضهم البعض،

فمـن الممكـن أن يتلاشى التصفيـق تدريجيا. مثال آخر هـو التصدي لرعي السلـوك في الفصل في القضايا الكوارث. الهـروب عندما يهرب الآخرين القيام هـو على الأرجح النهج الصحيح للبقاء علـى قيد الحياة، ولكنه يمكن أيضا أن يسبب حركات جماهيرية للخروج عن السيطرة لأسباب خاطئة.

ليس من الصعب أن تطبق هذه الأفكار في الأسواق المالية. لنفترض أن التجار ليس لديهـم رؤى خاصة بهم للأسواق، ولكن يتأثـرون على الأقل في جزء من الآراء حولهـا. إنه ليس افتراضا غـير معقول، نظرا لتعقيد هـذه الأسواق. وبدأ التجـار يميلون بالتالي إلى التفـاؤل عند البعض الآخر، أيضـا، وتشجيع السلوك الجماعي يذكرنا بموجة من التصفيق في نهاية المطاف، الأمر الذي قد يتسبب في ازدهـار السوق. وهذا بالضبط ما حدث في السنوات التي سبقت أزمة الائتمان 2007–2008، عندمـا قللـت النشوة الجماعيـة حساسية الناس لآيـات السلبية العديدة التي يمكن أن يستشفوها في الأسواق. على النقيض من ذلك، جاء عكس الاتجـاه التصاعدي والتوقعات العالية فجأة وتحولت إلى ما لا يمكن تحمله، وبات هناك من جديد توقعات قاتمة من خلال تتالي عقول التجار. ووصل التصفيق إلى التوقف المفاجئ. واكتشف بير باك، الرائد في علم النظم الديناميكية غير الخطية، هـذه العملية من التقليد الأعمى كميا. وقد وجـد أن النموذج التقليدي البسيط القائم على التقليد يجعل الإنسان يلتقط أنماطا غريبة للأسعار التي وصفها واحد في سوق الأوراق المالية الظاهرة التي حيرت الخبراء الاقتصاديين لعدة عقود[1].

(1) Bak، P.، Paczuski، M.، and Shubik، M. (1997). Price variations in a stock market with many agents. Physica A، 246، 430–453.

المشكلة مع تقلبات الأسعار

تقفـز أسعار السوق المالية من دون سبـب واضح، الأمر الذي يشير إليه الاقتصاديـون بالتقلب. (مستوى النشاط في السـوق أكبر بكثير مما كنت أتوقـع في إطار عقلاني)، يوضح جان فيليـب بوشو. (المخزونات الفردية تختلـف عادة بنسبـة 2 في المائة في اليـوم. ولكن كيف يمكـن تغيير قيمة الشركـة كثيرا، كثيرا جدا، حتـى في الأيام التي لا يوجد فيهـا أخبار تؤثر فيها؟ تذبذب أسعار الأسهم بحدة حتى من المركز الثاني من الحركات التي هـي أسرع وأكثر تواترا من أي الأخبار التـي قد تكون من خلال التغذية. لذلك، ليس هناك واحد إلى واحد في العلاقة بين حركة الأسعار والأخبار عن الشركات المعنية)، يقول بوشو بحزم. وقد أثبت أيضا ذلك كمياً.[1]

هـذه ليست المشكلة الوحيدة التي تسببهـا تحركات الأسعار. الحوادث تحـدث بشكل متكـرر أكثر بكثير مما ينبغي وفقا لنظريـة اقتصادية قياسية. لا أحـد يبدو أن يأخـذ على محمل الجد الأرقام الفعليـة المرتبطة بالأعطال الماضيـة[2]. الإحصـاءات من تقلبـات السـوق المالية لا تشبـه الحركات العشوائيـة حول نقطة التـوازن. فهي تذكرنا أكثر بالأنمـاط المرتبطة بتلك الأمثلـة التوراتية من الزلازل، والانهيـارات الجليدية وعدم الاستقرار. إنه

(1) Joulin، A.، Lefevre، A.، Grunberg، D.، and Bouchaud، J.–P. (2008). Stock price jumps: News and volume play a minor role، http://vermeer.net/cav

(2) Numerous hedge funds got into difficulty in 2008 because of their use of the Black–Scholes model. The equilibrium theory on which that model draws underestimates the likelihood of crashes. Ten years earlier، Black–Scholes had earned its inventors a Nobel Prize in economic sciences.

قانـون القوة من النوع التي نواجهه في هـذا الكتاب، والذي بدوره يدل علـى العملية التي تراكم التوتر فجأة قبل أن يطلق سراحه. في عمليات من هذا النوع، تبقى التقلبات كبرى هي الآن أكثر تواترا من التوازنات.

في حسابـات باك، لا يمكـن أن تكون هذه التقلبـات سهلة التفسير من حيـث سلوك القطيع. أن نفس السلوك يبين لماذا يستمر التداول حتى لو لم يكن هناك أخبار يستند إليها ذلك. قد يكون نموذج باك للقطيع مبسطا إلى حد بعيد، لكنه يوضح أن بعض الافتراضات البسيطة تكفي لفهم الظواهر التـي لا يمكن للاقتصاد التقليدي أن يفسرها. لجعـل النماذج أكثر واقعية، ينبغـي أيضا إدراج عوامل أخرى غـير عقلانية، مثل المكافآت التي تشجع التجار على المخاطرة.

يجادل بوشـو أن الاتجاه للمقامرة هو سمة متأصلة في الإنسان. (تعطى المؤامـرة حوافز للتجار لاتخاذ المخاطر. أسوأ ما يمكن أن يحدث هو أنهم قـد يفقـدون وظائفهم، في حـين أن أفضل نتيجة هـي أن يحصلون على مكافـأة الحياة المتغيرة. هذا التباين في المكافـآت يشجع الناس على اتخاذ المخاطر التي تقع خارج سيطرة أي شخص. وكانت ردود الفعل الإيجابية التي تضمنتها ما دفع إلى تعطل الأسواق في أزمة عام 2008).

وقـد ألهم عـالم الديناميات غير الخطـي لذلك نماذج جديـدة من شأنها المحافظة على بعض الجوانب الهامة وغير مفهومة تماما من الأسواق. (لكن الصورة لا تزال غير مكتملة)، يحذر بوشو. (هذا هو البحث على هامش الاقتصـاد: ما زلنا غربـاء. أتلقى دعوات لإعطاء مزيـد من المحادثات في هذه الأيام، ولكن هذه الأفكار لم تتبلور في التيار الرئيسي في الاقتصاد. لا

توجد كتب المدرسية، وأنه لا يدرس في الجامعة. وهذا يعني أن المعتقدات القديمة ما زالت الطاغية).

جعل الأسواق أكثر شفافية

حقيقة أن حركة سوق الأسهم تطابق إحصاءات أية عمليات توازن بدقة بحيث لا شك فيه هو نجاح للفيزيائيين الاقتصاديين. مما يبعث على الاطمئنان بالكاد. ومع ذلك، أعتقد أن هذه التقلبات العنيفة والفقاعات والانهيارات التي تلازمها هي سمة فطرية في أسواقنا المالية. الأمل الوحيد هو أن أعمق العمليات الكامنة قد تقدم لنا مع الأدوات القادرة على تثبيط هذه التقلبات ومنع الأزمة المقبلة. واحد من أول الأشياء التي ينبغي على المنظمين فعلها، بحسب جان فيليب بوشو، هو جعل الأسواق أكثر شفافية.

(بدون البيانات، يمكنك أن تأمل في فهم الأسواق. ولكن جعل الأسواق أكثر شفافية من الصعب جدا، كما تعارض البنوك الأمر بشدة. لديهم ميزة في السوق عندما يكونون قادرين على إخفاء شيء ما. إنها مثل عملية بيع سيارة، إن كنت لا تريد بالضرورة للمشتري أن يعرف عن كل عيب يذكر. ولكن كفاءة الأسواق تتطلب أن تكون المعلومات معروفة لدى الجميع. وإلا، فإن المشتري لا يدفع ثمنا للسيارة يعكس حالتها الحقيقية).

جعل الأسواق شفافة من الصعب أيضا بسبب الشبكات المالية التي تتطور باستمرار. (المؤسسات المالية الحديثة مثل أي صناعة أخرى)، كما يقول بوشو. (غالبا ما لا تفهم المنتجات الجديدة جيدا في البداية، مما

يخلـق مخاطر جديدة يتم بالكاد تنظيمها. هـذا مذهل. للأغذية و الأدوية، هناك هيئات تنظيمية تتطلـب منك تقييم المخاطر قبل السماح لك بتقديم منتجـات جديدة في السوق، وهي محقـة في ذلك لأنها قد تعرض للخطر أجزاء كبيرة من السكان. ومع ذلك، كما رأينا للتو، يمكن أن تضرب الأزمة المالية الناس العاديين جدا. يجب علينا حقا تنظيم المنتجات المالية الجديدة، ويتطلب الأمر كذلك أن نجمع بيانات السوق العامة).

عندمـا يكون لديـك المعلومـات الكافيـة، يمكنـك استخـدام أجهزة الكمبيوتر لتحليلها واختبار النماذج المالية. (لا يمكن للجهاز تحليل الكثير مـن البيانات على الفور. إذا تم الكشف عن السلائف من عدم الاستقرار، يمكنـك التصدي لهم بعـد ذلك على الفور. حلقـات التغذية الراجعة مع أجهـزة الكمبيوتر أسرع بكثير مـن عملية صنع القرار مـع الإنسان. إنها تمكـن من اتخاذ إجراءات سريعة، وقد تسمح للهبوط بليونة عندما تخرج الأمور عن نطاق السيطرة).

وقـد وضعت مجموعة أبحاث في زيوريخ هذه الفكرة موضع التنفيذ. وقد بـادر خبير الزلازل الدولي ديدييه سورنيـت لإنشاء (مرصد الأزمات المالية) في المعهد الاتحادي السويسري للتكنولوجيا، حيث بحث عن أنماط بسيطة مما يدل على عقلانية سلوك القطيـع بالطريقة نفسها التي سبق الكشف عنها في إشارات من الضغط في القشرة الأرضية. أي أن زيادة بكمية بمعدل أسرع من الأسـي هو أمر مشبوه، ويعتقد سورنيت أن مثل هذا السلوك يدل على مدى الثقـة مع الناس بعضهـا بعضا في ما أصبح حركة لا يمكـن تحملها على الجزء التصاعدي من السوق. تصرفت أسعار المساكن في الولايات المتحدة في هذه

الطريقة بالذات في الفترة التي سبقت الأزمة المالية لعام 2008، وكان الكشف عن أنماط مماثلة خلال فقاعة الإنترنت في التسعينيات. (هذا هو الحد الأدنى الذي ينبغي أن يفعله كل مستثمر)، كما يقول بوشو. (لقد فعلنا ذلك مع صندوق الاستثمار لدينا عندما لاحظنا أن مقايضة العجز عن سداد الائتمان في بنك ليمان براذرز كانت تنمو بوتيرة خطيرة. أوقفنا أموالنا بضعة أيام قبل الإفلاس. فمن الضرورة القصوى جعل هذه الأنواع من التحليلات، ولكن لا يمكنك القيام بذلك إلا إذا كانت البيانات موجودة).

إظهار اللاعقلانية

المتطلبات الأخرى، بحسب جان فيليب بوشو، يمكن أن تتخذ العاطفة البشرية للخروج من الأسواق. (الناس على اطلاع بالتجارة أقل لأنهم يعلمون حقا إن كان هناك أي معلومات جديدة تؤثر على قيمة استثماراتهم خارج تكاليف المعاملات. وخارج التداول في أغلب الأحيان، غالبا ما يكون علامة على أن الناس لم تكن قد فعلت الرياضيات بشكل صحيح. فإن استخدام التداول الآلي المتسطحة خارج التداول لا لزوم لها. أجهزة الكمبيوتر لا عواطف، وحتى التداول الآلي والتغلب على مشكلة الثقة المفرطة والغطرسة. أجهزة الكمبيوتر لا تحصل على المكافآت، وأنها لا تتخذ قرارات مجنونة، وألا تغير فجأة عقولهم. فهم يفعلون ما عليهم فعله).

ولكن، ربما تدخل تجارة الكمبيوتر مصادر أخرى للخطر، مثل البق والأخطاء، والتحذيرات. (إذا كانت أجهزة الكمبيوتر تستخدم الخوارزميات التي تعتمد على الأفكار الاقتصادية غير صحيحة، فهذا

لأنها قد أعرضت عن غير قصد الأصداء الإيجابية، كما حدث عدة مرات في الأسواق المالية. لذا يجب أن تكون على بينة من حدودها. ويمكن أن يطبق الأمر بشكل صحيح، إذا تم استخدام أجهزة الكمبيوتر في تحقيق الاستقرار في الأسواق على المدى الطويل. انخفضت تقلبات السوق على مدى السنوات الخمس الماضية قبل الأزمة، والتي نجمت جزئيا عن طريق وضع إستراتيجيات التداول الآلي).

الأمر الأكثر أهمية، ومع ذلك، هو تطبيق الديناميات غير الخطية لاقتصاديات تعطينا فهما أفضل لآليات السوق. يمكن أن توفر المحاكاة الحاسوبية وغيرها من العلوم شبكة أدوات جديدة وتفاعلات أعمق داخل الشبكة التجارية، والتي قد تتحول إلى طرق جديدة لهيكلة الأسواق لمزيد من الاستقرار. حل واحد ممكن يكمن في جعل الأسواق أكثر محلية. من المؤكد وجود إستراتيجية مفيدة عندما يندلع مرض خطير، وأنها تشبه طريقة النظم الإيكولوجية التي تميل إلى الاستقرار. ربما نحن بحاجة إلى إدخال الاحتكاك إلى السوق في شكل ضرائب على المعاملات المالية. من شأنه أن يقلل أيضا من التبعيات العالمية. هذه هي الفكرة التي يريد بلد السويد عرضها الآن. أو ربما هناك بعض الإغفال حتى الآن، قادر على تدبير تخفيف الأسواق. (من المهم جدا لتطوير أفضل النماذج التي تتضمن عدم توازن العمليات،) يشدد بوشو.

(إن نموذجا دقيقا، وحتى لو لم يكن متطورا، ولا سيما بعد من شأنه أن يقدم لنا المزيد من البصيرة. من شأنها أن تكون أفضل بكثير من وضع النماذج على أساس افتراضات خاطئة. النماذج المتحيزة تعطيك أفكارا خاطئة

حول آليات السوق. وتبدأ ثقافة مختلفة وعلمية في الظهور. كفيزيائيين، لقد نمت لنا ثقافة تعلمك الشك بقدر ما تستطيع. ويستند الاقتصاد في الاعتقاد الأعمى على افتراضات قليلة. وهذا الأمر يجب أن يتغير).

ويمثّل أداء مجلس إدارة صندوق رأس المال، الذي يرأسه جان فيليب بوشو، السلطة من نهج أكثر عقلانية وشفافة لتداول المالية. (وفي عام 2008، عندما أدركنا معظم الصناديق كانت تفقد قيمتها بسبب الأزمة، سجلنا ربح قدره 8.5 في المئة. هذا لأننا بقينا دائما بعيدا عن المنتجات المالية السامة. نحن فقط في تجارة المنتجات المالية في الأسواق التي تتسم بالشفافية الكاملة، وحيث كل البيانات المتاحة. وقد كانت إستراتيجيتنا على التجارة في خطر دائم. وبعبارة أخرى، إذا كانت التقلبات تزيد من المخاطر في سوق واحدة، نحن نخرج قليلا للتعويض. إنها إستراتيجية منطقية تماما. كان العائق الوحيد الذي أثار الهلع في عملائنا: عندما كانت الأزمة في أوجها، انسحب ثلث عملائنا من الصندوق. ليس بسبب أدائنا ولكن بسبب الحاجة إليها لتغطية الخسائر في أماكن أخرى أو الخروج من الذعر الهائل).

6 - السلام

يموت ألف مليون شخص سنويا نتيجة الحرب والإرهاب[1]. ووفقا لهذه الإحصاءات، فإن النزاع المسلح سيتسبب في مقتل 20 مليون شخص في

(1) Holdren، J. P. (2008). Science and technology for sustainable wellbeing. Science، 319، 424–434.

العقدين المقبلين. هل هناك أي شيء يمكننا القيام به لوقف ذلك من الحدوث؟ منشأ الحرب هي واحدة من أقدم المسائل الإنسانية. كل الديانات الكبرى تضع القواعد التي تحد من النزاعات المسلحة، ولكن، يبدو أن للحرب قوة تدميرية موجودة على مر التاريخ. هل في وسعنا منع الحرب والإرهاب؟

كان البريطاني لويس فراي ريتشاردسون، عالم الأرصاد الجوية أوّل من قلم بتطبيق التحليل الإحصائي للحرب. وكان لريتشاردسون معتقداته الخاصة التي منعته من الخدمة في القتال، حتى أنه قاد سيارة إسعاف أثناء الحرب العالمية الأولى بدلا من ذلك. بدأ بعدها بجمع بيانات عن عدد القتلى الذين يموتون في الصراع المسلح. كان ريتشاردسون قد ذهب للدراسة في مواجهات عسكرية 1820—1945، بدءا من المناوشات المحلية البسيطة لحروب العالم شاملة.

كما توقع، وجد أن أكثر الصراع فتكاً هو الأقل تواترا في حدوثه. ما لم يكن متوقعا، ومع ذلك، كانت ملاحظته أن وتيرة الحروب تلي نوعا مماثلا من قانون القياس والزلازل والانهيارات الثلجية. هناك ما يقرب 15 صراع في القرن يكلفون أكثر من مليون شخص. تلك التي لديها عدد القتلى أعلى من 100000 تحدث 100 مرة، وتلك مع 10000 حالة وفاة تحدث أكثر من 800 مرة، وهلم جرا. وهناك زيادة بمقدار ثلاثة أضعاف في الفتك تتوافق بذلك مع وجود انخفاض في وتيرة ثمانية أضعاف.

وجاء هذا بمثابة مفاجأة كبيرة لأنه يوحي بأن الحروب لا تحدث عشوائيا. وتبين أن نسبة ثابتة من الصراعات الصغيرة والكبيرة مترابطة وبأن هناك مجموعة مشتركة من القوى الدافعة في اتجاه الحرب والنزاع. هذا هو الاستنتاج القلق

العميـق للمؤرخين، والذي ينسب عـادة كل اندلاع موجة جديدة من العنف إلى مجموعـة من الاحتمالات الفريدة من نوعهـا. ولكن هذا ليس سوى جزء من القصة. إحصاءات قانون التحجيم تشير إلى أن هناك شيئا عالميا مشترك من قبل جميع الحروب، التي قد تكون متأصلة في المجتمع البشري.

عاجلا أو آجلا، سوف تظهر الفوهرر في مكان آخر في أنحاء العالم، وتطلق العنان لحرب أخرى مع توقيتها ونتائجها الخاصة. إذا كانت الصراعات على نطـاق واسع المتكـررة في الواقع، يتعين علينا أن نبـدأ في القلق بشأن النزاع المقبـل الذي يـؤدي إلى أكثر من مليون حالـة وفاة. هذه المطالبـات سلسلة كاملـة من الأسئلة المقلقة. لماذا لم تتعلم الإنسانية أي شيء في وقت سابق من الصراعـات؟ لماذا لا تجلب لنا الحرب أي حل أقـرب إلى السلام الدائم؟ هل يبدو ممكناً أن يتغير مصيرنا الدموي؟ هل نحن حقا نتبع قوانين الطبيعة، التي تملي علينا أن الصراع المسلح سيتبع حتما نفس نمط الزلازل والانهيارات؟

شبكة السلام

من المغـري تفسير إحصـاءات الحرب في هـذه الوسيلـة الحتمية. ومع ذلـك، إذا ركزنا على فترات أطول، نجد أن القوانين هي في توسع مستمر بـأي حال من الأحـوال. كان القرن الثامن عشر، علـى سبيل المثال، مليئاً بالصراعـات المميتة، في حـين إن القرن التاسع عشـر كان سلميا نسبيا[1].

---

(1) Piepers، I. (2006). Dynamics and development of the international system: A com-plexity science perspective، http://vermeer.net/caw

وغيرت التغييرات في السياسة العالمية طبيعة الصراع، وإنه من المنطقي تماما أن نطاق الحروب يجب أن يختلف عبر التاريخ. حتى من دون أي تغيير في الطبيعة البشرية أو عداء نسبي لمجتمعاتنا، يؤثر التقدم التكنولوجي بقوة على نتائج الجهود الدبلوماسية وحجم القتل.

ظهور السكك الحديدية في أوروبا، على سبيل المثال، أدى إلى تغيير في حجم الجيوش[1] والطريق للوصول إليه. القدرة على نقل القوات من الحدود لآخر في غضون يوم واحد يرتكز على تأسيس الإمبراطورية الألمانية في عام 1871. السكك الحديدية أيضا غيرت هيكل الصناعة، وبالتالي تعقيد المجتمع. وهذا مجرد مثال واحد من التكنولوجيا التي أحدثت تغييرات جذرية على الساحة الدولية. تطوير تكنولوجيا الاتصالات أمر آخر، وردود الفعل السريعة سمحت بإحداث تغيير جوهري في طبيعة الدبلوماسية.

في الوقت نفسه، دفع النمو الصناعي المزدهر الدول على البحث عن موارد خارج حدودها، وهو ما يعني أن التكنولوجيا يمكن أن تزيد من حدة التوترات الدولية. فمن المأمون القول إن التطور التكنولوجي يؤثر على الطريقة التي أدت إلى الصراعات وكيف وإلى أي مدى تفاقمها. نظراً إلى أن التكنولوجيا لا تزال تتطور بسرعة كبيرة، فإنه ليس من الواضح على الإطلاق ما إذا كانت أنماط إحصائية الحرب التي كشفها ريتشاردسون ستكون صحيحة في المستقبل.

(1) Herrera، G. L. (2006). Technology and international transformation: The railroad، the atom bomb، and the politics of international change. Albany: State University of New York Press.

هل من تغييرات واضحة في أنماط الصراع الدولي؟ وهل يمكن أن نقوم بتطوير التكنولوجيات التي تشجع العالم ليصبح أكثر سلاما؟ على أمل الإجابة على هذه الأسئلة، وضعنا جانبا الإحصاءات وسافرنا إلى ستوكهولم لاستشارة خبير لديه خبرة عميقة مع جذور الصراع، والدبلوماسية الدولية، وكيف يؤدي التنافس على الغذاء والنفط والمياه إلى الحروب. هانز بليكس هو المدير العام السابق للوكالة الدولية للطاقة الذرية، والرئيس السابق للجنة الأمم المتحدة للرصد والتحقق والتفتيش التي تم إرسالها إلى العراق، كما أنه يمتلك دكتوراه في القانون الدولي.

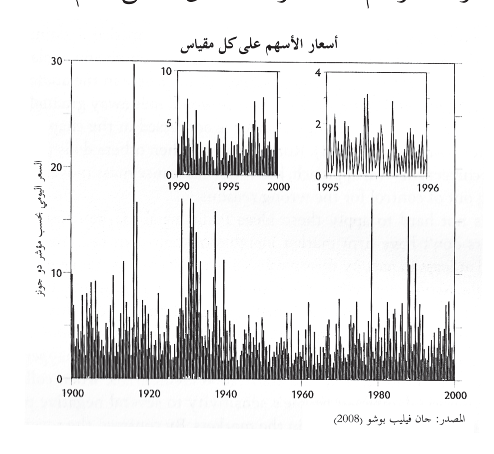
بعد مناقشة هذه الأمور معه، أصبح واضحا أن العديد من الموضوعات التي تم استكشافها في هذا الكتاب تلتقي مع تحليلات الحرب والسلام. هل يعني هذا أن نوعا من التحول جاري في النظام الدولي؟[1] (إن استخدام القوة بين الدول قد انخفض في العقود الأخيرة) هانز بليكس يجاوب. (هناك أسباب أقل للحرب. لم يعد هناك استعمار، كما يتم إصلاح الحدود، ولم يعد هناك تقريبا أي حروب غزو أو حروب أيديولوجية. استقر النظام الدولي، ولا أحد يبدو حريصا على تغييره. خلال الحرب الباردة، كان هناك دائما خطر التدمير المتبادل المؤكد، والذي يمكن أن يحدث حتى نتيجة لخطأ شخص واحد. وقد تلاشى هذا الخطر. بالطبع، قد يكون هناك تهديد نووي من إيران أو كوريا الشمالية، ولكن من غير المرجح

---

(1) Blix، H. (2008). Why nuclear disarmament matters. Boston، Mass.، and London: MIT Press.

أن يؤدي الأمر إلى حـرب عالمية. لدينا الآن أكثر من أصغر التهديدات في وقت الحرب الباردة. لكنها أكثر تكرارا).

لا تـزال هناك مخاطر، لذلك، قد تدفع الأسلحة النووية إحصاءات الصراع في الاتجاه الخاطئ. التاريخ يظهر أنه من المستحيل حظر الأسلحة النووية تماما أو أن نكون واثقين تماما من أماكن وجودها. ولكن لقد تضاءل خطر الحرب النوويـة ليتلاشى التأييد الشعبـي لنزع السلاح النـووي، بحسب بليكس. (عوامـل الاجتماعيـة والقانونية والنفسية مهمة للتحقـق من الأمن الدولي. وتقدم وكالة الطاقة الذرية ضمانات معينة، ولكنها لا تستطيع سوى المراقبة. وحتـى مع وجود مراقبة وكالة الطاقـة الذرية، ليس هناك ضمان كامل أبدا، وهنـاك دائما بقايا من عدم اليقـين. وبالمثل، فإن القانون الدولي هو الحاجز. الـدول لا ترغب في خرق التزاماتهـا القانونية. وقامت ليبيـا والعراق على حـد سواء بانتهاك معاهدة عدم انتشـار الأسلحة النووية، ولكنهما أعيدا إلى السيطرة مرة أخرى، برغم أن الأمر لا يحقق الأمن التام).



المصدر: جان فيليب بوشو (2008)

التكنولوجيا قد تكون مفيدة أيضا، يضيف بليكس. (ويمكن أن تجلب المزيد من الشفافية. الأقمار الصناعية هي وسيلة جيدة لأنها توفر عيون في كل مكان، وأثبتت أنها أداة هامة لنزع السلاح. أخذ العينات البيئية هو أيضا وسيلة جيدة للتحقق من الأنشطة النووية. على سبيل المثال، يمكن تحليل عينات من المياه، والإجازات، والقماش من أي آثار لمواد نووية. وهناك طرق للقيام بالمسوحات الجيولوجية للكشف عن وجود اليورانيوم تحت الأرض. ولكن في ميدان نزع السلاح، التكنولوجيا ليست هي الحل النهائي. لا يمكن أن تحل محل المفتشين على الأرض. لديهم الشعور بالراحة على موقع ما يحدث، ويمكن استخلاص استنتاجات عن موقف البلدان المتلقية. يجب على الدول القبول بوجود المفتشين).

بالإضافة إلى ذلك، تتمتع الأسلحة الكيميائية بنظام تفتيش أكثر توسعاً في التفاصيل. (للحصول على الأسلحة البيولوجية، يجب التحقق من الخيارات الرسمية)، يقول بليكس. (هناك العديد من القيود، ولكن لا توجد بروتوكولات للتحقق منها. في المجال البيولوجي، على المرء أن يعتمد حتى الآن على المعايير الأخلاقية بدلا من التركيز على التفتيش، وذلك لأن الخدمات والمواد التي تم تطويرها في هذه الصناعات هي متعددة الأغراض. ولكن الأسلحة الكيميائية ذات أهمية هامشية، والأسلحة البيولوجية لديها عيب تلويث نفسها).

ويعتقد بليكس أنه من المهم أن نفهم ما يدفع الدول إلى تطوير أسلحة نووية. (بالنسبة لإيران، فمن المرجح أن الأمر مرتبط بالأمن. بالنسبة لكوريا الشمالية، فإنه من المحتمل أن يكون وسيلة للخروج من عزلتها،

عــبر تواصل الدبلوماسيين المكثّف معهــا. ولكن هناك طرق أخرى للقيام بذلــك. يجب عليك العمل في اتجــاه التكامل والاعتمــاد المتبادل المتزايد بــين الدول. مــن شأن الأمر أن يقلل من خطر حــدوث نزاع دولي. وخير مثــال على ذلك هــي العلاقة بين الصــين واليابان. كانت هنــاك توترات كثيرة بين الطرفين. لكــن كلاهما يعمل الآن على وضع التعاون التجاري والاقتصادي. وهذه هي الطريقة للعمل نحو التطور الإيجابي في العلاقات وترابط دولي أكبر).

ويعتقــد هانــز بليكس أن قــرار مواصلــة التسلح النووي هــي مشكلة سياســية. (ولذا، فإن أفضل طريقة لتجنب أسلحة الدمار الشامل هو جعل الدول تشعر أنها لا تحتاج إليها. تعزيز الترابط المتبادل هو بذلك نهج الأمل للمستقبــل. وينبغي أن تشجع البلدان هذا بقــوة. ويمكنك محاولة تشكيل تلــك الطموحات. ويمكــن أن تشجــع دولا مثل إيران وكوريــا الشمالية للاستثمــار في مجــال الطاقــة النووية والبحــوث لأغراض المناخية. ومن شأن الأمر أن يمنحهم وسيلة لاستخــدام تجارب نووية، ومرافق الاختبار، والدرايــة الفنية لأغراض توفير الطاقة بدلا من الأسلحــة. بهذه الطريقة، يزيــد الترابط بــين البلدان، التي تستقر في المجتمع الــدولي. بالطبع، هناك دائمــا بقايا من عدم اليقين. كما قلت، ليس هناك أبدا عائق كلي أو أمني. لكن الفوائد من البلدان المتضامنة في المجتمع الدولي هي أكبر من المخاطر. يقــوى بذلــك الهيكل الــدولي القائم وتتقلص الخلافــات). الاستخدام السلمي للطاقة النووية من شأنه أيضا أن يكون وسيلة مفيدة لتخفيف حدة ظاهــرة الاحتباس الحراري، يشــير بليكس. (وهو مفيد جــدا لأنه يعطي

كمية هائلة من الطاقة من دون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. أنا أكثر قلقا بشأن ارتفاع درجة حرارة الأرض مما أنا عليه بشأن أسلحة الدمار الشامل. وهناك فرق هائل في الحجم).

تغيير المناخ

بعد أن أثار موضوع الطاقة النووية، وتغير المناخ، والسعي من أجل النفط والموارد الطبيعية الأخرى، أشار هانز بليكس إلى أنه في حين أن عدد النزاعات الدولية قد انخفض، هناك استثناء واحد يدعو للقلق: (نحن نرى المزيد من النزاعات حول الموارد، مثل النفط. ولكن يمكن أن تكون هذه الصراعات قد لعبت على نحو أفضل بكثير في السوق. إذا كانت الأسعار تعكس بشكل صحيح، فإنها تعزز التنمية التكنولوجية. لا يزال هناك الكثير من مجال للتحسين. يمكننا العمل على تحسين البطاريات التي تمكن أساليب جديدة للنقل وحفظ النفط. يمكننا العمل على الموصلات الفائقة، والتي قد تكون مفيدة في شبكات الكهرباء. ينبغي أن نواصل العمل على الانصهار النووي الذي يمكن أن يوفر أنظف مصدر للكهرباء. هناك احتمالات كثيرة لتوفير الطاقة من دون النفط، ودون انبعاث ثاني أكسيد الكربون. ينبغي أن نعمل على ذلك. ومع ذلك، يجب علينا أن نتذكر أننا قد نواجه مشاكل أكبر كالطاقة والحفاظ على زيادة السكان).

ويرى بليكس الطاقة النووية باعتبارها واحدة من الاحتمالات الواعدة. (غالبا ما ينظر إلى الأسلحة النووية والطاقة النووية والتوائم السيامية، ولكن هذا غير صحيح. يمكن للبلدان أن تتمتع بالطاقة النووية دون الأسلحة

النوويــة، وعلــى العكس من ذلك. حتى لو كان لديــك الطاقة النووية، لا يــزال هناك حاجزا تكنولوجيــا لصنع الأسلحة النوويــة. ليس من السهل صنع قنبلة نووية. الغالبية العظمى من البلدان تواجه صعوبة كبيرة في القيام بذلك. لتوليــد الكهرباء، تحتاج فقط لتخصيــب اليورانيوم إلى 5 في المئة. ولكن هناك قلق إذا كنت تستطيع أن تفعل ذلك، فإنك يمكن أن تثري أيضا إلى نحو 90 في المئة أن هناك حاجة للأسلحة النووية. لذا، ينبغي أن يقتصر الأمر على عدد من محطات لتخصيب اليورانيوم في العالم. هذا ليس سهلا لأنه لا يوجــد حظر على وجود هم. وتستعمل بلدان قليلة جدا في الواقع منشآت تخصيب في الوقــت الراهن. إذا كان هناك المزيد منها، لن يكون هناك المزيد من المــواد النووية ومخاطر أكبر من التكنولوجيا المستخدمة في صنــع أسلحة. للحد مــن عدد المصانع، يمكن بناء المرافــق الدولية. ويمكن عندئــذ أن تكون الــدول قد ضمنت إمدادات من الوقــود حتى لو لم يكن لديهــا مصانع تخصبها بأنفسها. هذا هو مفهوم بنك للوقود. وقد تساهم البلدان بالوقود النووي من مختلــف الأنواع ووضعه في المستودعات ليتم توزيعه من قبل البنك الوقود).

ولا يمكن لبلد أن يستخدم اليورانيوم المنخفض التخصيب لصنع الأسلحة إذا لم يكــن لديه إمكانية الوصول إلى محطة لتخصيب اليورانيوم. هذا يعني أنه يمكن، من حيث المبدأ، أن يتم توزيعه على دول مثل إيران أيضا. ولكن هــذا يثير أسئلة صعبة معينة، يعترف بليكس: (علينا أن نفكر في الكثير من الأسئلة قبل أن نتمكن من البدء في بنك الوقود النووي).

الخيار الآخر هو استخدام مفاعلات المربي. (التكنولوجيا المربي السريعة

متاحة بالفعل)، هانز بليكس يؤكد. (ويمكن إيصالها مرات أكثر من الطاقة من اليورانيوم. بهذه الطريقة، لدينا إمدادات من المقرر أن تستمر لقرون كثيرة جدا، لذلك ليس لدينا ما يدعو للقلق أن اليورانيوم هو مورد محدود. ولكن المشكلة هي أن مفاعل البلوتونيوم يتطلب المربي باعتباره المسؤول الأول. البلوتونيوم هو واحد من الأشياء الخطرة جداً. إنها مادة سامة للغاية، ويمكن استخدامها لإنتاج أسلحة). (إننا لا نريد للبلوتونيوم أن ينتشر)، يؤكد بليكس. (لكن هناك تقنيات أخرى كذلك. يمكنك اللجوء إلى الثوريوم، على سبيل المثال. لا يمكن للمخصب صنع الأسلحة، لذلك ليس هناك مشكلة مع انتشار الأسلحة النووية. هناك أيضا مشاكل أقل مع النفايات النووية. وهناك أكثر من ثلاث مرات الثوريوم في العالم من وجود اليورانيوم).

تكافؤ الفرص

وقد أدت شبكة الإنترنت الأكثر تشددا من أي وقت مضى إلى الاعتماد المتبادل بالفعل إلى تحولات في مجال الإحصاءات الصراع العسكري. لا أحد يتوقع من فرنسا وألمانيا خوض حرب مع بعضها البعض مرة أخرى. وبالمثل، كانت المستشارة الألمانية معروفة بتمثيل الرئيس الفرنسي عندما يكون هذا الأخير غير قادر على حضور اجتماع دولي. إن البلدين لديهما صناعة الدفاع المتكاملة، وتتشابك على نحو متزايد شبكات الكهرباء الخاصة بهم، أيضا.

ومع ذلك، تماما كما أن نسبة الحروب بين الدول التي تحدث في كثير

من الأحيان صارت أقل، تصدرت المشهد مصادر أخرى من العنف. (أسلحة الدمار الشامل ليست هي الأسلحة الأكثر فتكا لدينا)، يؤكد هانس بليكس. (علينا أن ندرك أن الناس يموتون أكثر بكثير من الأسلحة ذات العيار الصغير. وارتكبت المجازر في رواندا بالمناجل. عدد الحروب الأهلية آخذ في الازدياد. وقد حوربوا بسبب قضايا عدم المساواة، والتمرد، والأقليات. الدول مع الفقر المدقع لديها مشاكل كبيرة داخل حدودها. هذه أيضا أرض خصبة للإرهاب، بطبيعة الحال. ولكن أنا لست قلقا كثيرا على هجمات واسعة النطاق من الإرهابيين. وأنا أعرف أنه لا يجب تقليل أهمية الإرهاب النووي، وأنه أمر حقيقي بالفعل. من الصعب ردع الإرهابيين، خاصة وأنهم سيلجؤون إلى جميع الأساليب. لكن لم يتم المبالغة بالنسبة للإرهاب النووي في وسائل الإعلام والسياسة. خلق القلق اليومي عاملا جاذبا لوسائل الإعلام، ولكن لا أعتقد أن هذا هو أكبر تهديد في العالم. إذا كانت جماعة إرهابية تبني أسلحة نووية، فإنه من المحتمل أن يكون من الممكن الكشف عن مثل هذا النشاط الذي كان يجري. وما زال يمكننا أن نفعل الكثير لمنع تهريب المواد النووية). بليكس الآن أكثر قلقا إزاء العنف على نطاق أصغر. (هناك المزيد من الضحايا. وينبغي أن تتخذ الأحزاب السياسية مسؤولية الرشيد والتصرف تبعا لذلك. الطريق للقضاء عليه هي عبر تحسين النظام الاجتماعي بحيث لا يشعر الناس المهانة. إنها تتناقص حول عدم المساواة).

لا يجب أن يشعر الناس بالحاجة إلى حشد دعم الدين في أعمالهم، يستنتج هانز بليكس. ويضيف (علينا العمل من أجل تحقيق الحاجات

الأساسيـة للبشريـة، الحاجة إلى الميـاه، على سبيل المثال. وقـد أحرز تقدم مثيرة للاهتمـام في مجال تربية النباتات التي تتحمل الملوحة بحيث يمكنك استخـدام ميـاه البحر لأغراضـ الزراعـة. وينبغي أن نعمـل على تحسين سبـل للحفاظ على المواد الغذائية. لا تزال هنـاك حاجة كبيرة للعمل على الأمراضـ المعدية. حتى نزلات البرد تنتـج العديد من الضحايا، خصوصا إذا كانوا من الفقراء. وينبغي أن نعمل في اتجاه خفض النمو السكاني حتى نتمكن من توزيع حصة موارد الأرض المحدودة في طريقة أكثر إنصافا. لا ينبغـي أن يتم الأمـر من خلال القوة الخام، كما كان في الصين، ولكن عن طريق تعليم المرأة ومنحها الوضع الصحي والاجتماعي المناسب).

الفصل السادس

رؤية

جدول الأعمال

لدينا بعض العمل الجاد للقيام به. يعيش الكثير من الناس حياة بائسة لأنهم يفتقرون إلى الضروريات الأساسية للتعامل مع الجوع والعطش، والمأوى، والمرض، أو العجز. بالإضافة، قد لا يكون الرخاء الذي نتمتع به حاليا أمراً مفروغا منه في المستقبل. وقد حدد الخبراء في هذا الكتاب مجموعة من الاختراقات التي هناك حاجة ماسة إليها إذا أردنا تحسين مصير البشرية في العقود المقبلة، والتطلع إلى المستقبل بثقة أكبر. وسوف يكون هناك بعض الخيارات الصعبة، وسنحتاج على الأرجح الاتجاه في بعض خطوط البحوث على حساب الآخرين. وينبغي أن تتغير الصناعة وتبني إستراتيجيات جديدة. ويجب علينا كمجتمع تشجيع قبول هذا التغيير. تطور التكنولوجيا، والصناعة، والمجتمع عملية معقدة ومليئة بالآليات المرتدة والمفاجآت. إلا أنه من المهم أن نفهم أكثر الطرق الواعدة لتسهيل التغييرات اللازمة في الاتجاه.

تعقيد التكنولوجيا

التكنولوجيات المقترحة في هذا الكتاب ليست واضحة، وإلا لكان التعرف عليها ممكناَ في وقت أقرب بكثير. لقد ولّت الأيام التي يمكنك خلالها أن تنتج اختراعاً رائعاً في حديقتك. أي شخص يرغب في تحسين الحالة الراهنة للتكنولوجيا في حاجة إلى نسب صلبة وسوف يحتاج إلى

عمـل طويـل وشاق مع مجموعة مـن زملائه المتفانين، وسـوف يعتمد في كثير من الحالات على معدات مكلفة للغاية. وتتطلب الاختراقات القدرة على التحمـل، واختبارات شاقـة، ومصادر إلهام للعلمـاء والمهندسين لا تعـد ولا تحصى. يمكن لمئـات الآلاف من ساعات تصميـم أن تذهب إلى رقاقة جديدة، سيارة، أو تقنية توليد الطاقة. تطوير تقنية جديدة هي عملية معقدة.

ويتمثل هذا التعقيد من خلال تطوير الليزر. وتوقع اينشتاين مبدأ الانبعاث المستحث الذي يستند إلى الليزر قبل الحرب العالمية الثانية بكثير[1]. ولكن استغـرق الأمر عقودا عديدة تم إنشاء الليزر خلالها قبل طرحه للاستخدام العملي. عندما صار الليزر متوفرا، وجدنا أنه يمكن استخدامه في الأجهزة العلمية الجديدة التـي فتحت مجالات جديدة للبحث. هذا أدى بدوره إلى تحسـين فهمنا لكيفية بعث الضوء ذرات معينة، متيحاً تنمية الليزر المحسن الذي أصبح الآن ذات إنتاج الضخم للدي في دي والعديد من التطبيقات الأخـرى. لم يكن هناك جهـد موجه من آينشتاين إلى الحالـة الصلبة ليزر، فتحـوّل في النهايـة المسار التطوري. الاكتشافـات العلمية الجديدة تخلق رؤى جديدة، والتي تدل بطريقها نحو انفراج ما غير متوقع. حتى الفشل يساهم في التقدم. أثناء محاولات عديدة لخلق الحالة الصلبة الصغيرة لأشعة الليزر، وثبت أنه من الصعب للغاية منحهم حق الخصائص البصرية. عندما

(1) Einstein، A. (1917). Zur Quantentheorie der Strahlung. Physikalische Zeitschrift، 18، 121–128.

فشلت أولى محاولات الليزر للعمل بشكل صحيح، جاء انحراف غير متوقع تماماً.

التقدم هو شكل من أشكال التطور حيث يعزز العلم فيه التطبيقات العملية، والعملية متبادلة. إنها عملية غير خطية قوية إلى درجة يصعب توجيهها بشكل مباشر. وهذا من أحد الأسباب التي دفعتنا إلى أن نحد أنفسنا للاختراقات المرئية، بدلا من التخيل عن الاختراعات التي تكمن وراء الأفق. وقد كان الابتكار التكنولوجي أيضا عملية لعب فيها الأشخاص دوراً رئيسياً، حتى لو لم يكن الأشخاص معروفين. على سبيل المثال، تصوّر الهولندي لو اوتنز القرص المدمج في معرفة كاملة لم يكن الليزر قادر على التقاطها. ولكن إيمان أشخاص مثله هو ما أتاح إمكانية ابتكار الأقراص المدمجة. قد لا يكون الملهمين كاوتنز ذائعي الصيت كستيف جوبز، ولكنهم ليسوا أقل تأثيراً.

وكثيرا ما كان تطوير تكنولوجيا موجها بالمثيرات الخارجية. هناك أوقات يشتد فيها الضغط بشدة، مما يؤدي إلى قفزات مفاجئة. انتقلت الكيمياء الألمانية إلى مرحلة جديدة في حوالي عام 1900 عندما كانت هناك خشية من انقطاع توريد الملح الصخري. تم استيراد هذا المكون الرئيسي في المقام الأول من الديناميت من تشيلي، حيث تم استخراجه من طبقات سميكة من ذرق الطائر التي تتراكم على وجوه جرف البلاد. الملح الصخري وارد بشكل بارز في التنافس بين ألمانيا وبريطانيا وفرنسا وأوروبا، الدول الأكثر قوة في أوروبا في ذاك الوقت، وكادت ألمانيا أن تخسر بسبب ضعف قدرتها على الوصول البحر.

كانـت الرهانات عالية لأن النقص في الملح الصخري كان يمكن أن تؤثر علـى إمدادات من الذخيرة. أطلق الألمان جهدا بحثيا هاما من أجل إيجاد طريقـة لتصنيع النـترات الضرورية بشكل مصطنـع. وسرعان ما تطورت عمليـة تجميع الأمونيا، وأتاحت السماح بإنتـاج مركبات النيتروجين. تم تصعيد العمليـة، وقبل اندلاع الحرب العالميـة الأولى، افتتحت ألمانيا أول مصنع نترات في العالم. توج المشروع مع ثلاث جوائز نوبل لكل من فريتز هابـر، ويلهلـم اوستوالد، وكارل بوشـ، والذين يعتـبرون الآن مؤسسي الكيمياء الفيزيائية الحديثة.

لا يتـم إجراء هذا النوع من القفزة المفاجئة في تطوير التكنولوجيا سوى من خلال إنفاق مبلغ كبير من المال. وتبدو الحاجة الملحة إلى حل المشاكل أيضا قادرة أن تطلق العنان للإبداع البشري وتحفيز القادة لدعم جهودها. لمزيد من الضغط علـى هذه المعضلة، نحن نسعى إلى حل أكثر عزما وعلى نطـاق أوسع في الدعم الذي يمكنه توفيره. مثال آخر حدث خلال الحرب العالميـة الثانية عندما تم جلب مئات من العلمـاء معا في مشروع مانهاتن، الأمـر الـذي أدى سريعا إلى بناء القنبلة الذريـة الأولى، وأجهزة الكمبيوتر الأولى. وجلـب لنـا نفس الصـراع المطـاط الصناعي، الـذي يعتبر تقدما كبـيرا في تكنولوجيا الفضاء الجوي والرادارات، وإنتاج كميات كبيرة من البنسلين، وأكثر من ذلك بكثير.

وقـد يتمكـن الغرباء بالتـالي من تشجيـع البحوث عندمـا تكون هناك حاجـة ملحة، وهـي ليست بالضـرورة خلق صـراع عسكـري. وتتبنى الصناعة التكنولوجيا الجديـدة لتحقيق ميزة نسبية، ويمكن أيضا أن تكون

البحوث تكون معتمدة من قبل الدوافع المثالية، مثل الرغبة الإنسانية لتوفير المتطلبات الأساسية مثل المياه النظيفة والغذاء والمأوى أو لمساعدتنا في التعامل مع تناقص موارد كوكبنا الشحيحة. وتحمل التطورات الجديدة إمكانية صمود مواد جديد، وأساليب إنتاج أكثر أمانا وأقل إسراف، والمصادر البديلة للطاقة. نحن بحاجة إلى التأثير في مثل هذه المحفزات خارجيا، نظرا لأنها تعد من العوامل الحاسمة للابتكار التكنولوجي.

فمن المهم أن ندرك أنها لا تؤدي دائما إلى الهدف بشكل مباشر مثل الحاجة الإمبراطورية الألمانية لتحديد بديل للنترات. عندما تم إنتاج أول أسلحة الليزر في الستينيات، تم فصلهم في بعض الأوساط كمشاكل تبحث عن حلول. أي استثمار مكثف في مجال التكنولوجيا الزراعية لم ينتج دائما النتائج المرجوة. نتيجة جهود الجميع تنفق بعيدة كثيرا عن الوضوح، والتنمية التكنولوجية المعقدة يصعب التنبؤ بها. أي شخص يرغب في إحداث التطورات الجديدة يجب أن يكون على علم بذلك، وينبغي الاستفادة من رؤى جديدة من علم التعقيد لزيادة احتمالات نجاحها.

نحن بحاجة إلى السعي لإيجاد حلول أكثر مرونة بحيث يمكن للتكنولوجيا أن تخدمنا على نحو أكثر فعالية في بيئة سريعة التغير. ويجب أن نحملها أيضا إلى السيطرة على تعقيد نفسها. يمكننا زيادة المرونة من خلال جعل التكنولوجيا لدينا أكثر تكيفا. ويمكن لجهاز راديو بسيط فقط أن يلتقط محطات الاف. ام. ولكن يمكن لرقاقاته أم تكون مصممة لاستقبال شرائح أخرى أيضا، مما يتيح استخدام نفس الدائرة في لاسلكي أكثر تطورا. الرقائق المتطورة مع الملايين من المكونات هي عموما أرخص

لإنتاج ما إذا كان يمكن استخدامها لمجموعة متنوعة من التطبيقات. فمن المنطقي بالنسبة لها أن تكون قابلة للبرمجة. بهذه الطريقة، إنها أكثر مرونة في العملية، ويمكن للشركات المصنعة تكوينها بسهولة لتطبيقات محددة، وربما حتى تكون قادرة على ضبطها تلقائيا لاستخدامات خاصة بها. وينبغي للتصميم الأساسي، على الأقل، السماح لمجموعة أوسع من التطبيقات. المرونة تنطوي أيضا على الحاجة إلى تطوير التكنولوجيا التي تتطلب مدخلات أقل وتنتج انبعاثات أقل. البيئية التكنولوجيا التي يمكن أن تعمل بشكل مستقل أكثر من محيطها، وهنا تكمن الكفاءة في استخدام الطاقة، الأكثر مقاومة للتفسخ الخارجي، والتي تولد نفايات أقل. وتشمل الأمثلة على رقائق في داخل شبكة الكمبيوتر، وأجهزة استشعار في مصنع للمواد الكيميائية، ومحطات التحويل في شبكة الكهرباء، والمواد الحافزة في المفاعل، والإلكترونيات على متن طائرة. وقد تسمح التكنولوجيا الجديدة أيضا ببناء محطات كيميائية أصغر ويمكن أن تكون أقرب إلى استخدام المستهلك. ربما لم يعد علينا إخفاء المحطات الضخمة بعيدا عن تلوث المدن الصناعية المعزولة. في الماضي، رأينا كيف تم تفكيك مراكز كبيرة لصالح جهاز الكمبيوتر لإدخال الحواسيب الشخصية. توزيع توليد الطاقة يكتسب كذلك الدعم في مجال شبكات الطاقة الكهربائية.

وينبغي على علم تعقد تكنولوجيا أن يسمح لنا للرد بشكل أسرع أيضا. من المهم في العمليات المعقدة الحفاظ على النبض، حتى نتمكن من الاستجابة بسرعة إذا سارت الأمور على نحو خاطئ. وهكذا، فإنها ليست مجرد مسألة التوقعات الكبيرة والصور البعيدة المدى، ولكن أيضا

من البقاء في حالة تأهب للتغيرات الصغيرة. نحن بحاجة لأجهزة استشعار أسرع وأقل استهلاكاً للطاقة، مما يمكننا قياسه على جدول زمني أقصر بكثير وبدقـة أكبر بكثير مما هو ممكـن في الوقت الراهن. هذا أمر مهم في العديد من المجالات التكنولوجية: البيانات الجديدة لتجهيز الدوائر سوف تعمل بسرعات أعلى من ذلك بكثير؛ الأجيال الجديدة من الرقائق الدقيقة سوف تتطلـب مزيدا من الدقة، ونستطيع تتبع فقط تغير المناخ بشكل صحيح إذا كنا نستطيع رصد النظم الأرضية المختلفة بشكل أكثر دقة. والمصممين في حاجة إلى أن يأخذوا بعين الاعتبار العيوب التكنولوجية.

عندمـا نقترب من الحدود المادية للتصغـير، فلا مفر من أن عيوب رقائق النانـو التـي ننتجها ستبـدأ في الظهور. وهناك حاجـة إلى تقنيات جديدة بحيـث يمكـن للتصميم الذي يحتمـل الخطأ أن يطبّق علـى نطاق واسع. إذا حدثـت الأخطاء في المعدات، والرقائـق، أو الهياكل، يجب ألا تكون قاتلة. والبرنامج الذي يتحكم في كل شيء يحتاج إلى التعامل مع العيوب. وبالمثل، يتعين علينـا أن نقبل بأن معرفتنا للوضع منقوصة. لا يمكننا تنظيم اللوجستيـة وصـولا إلى أدق التفاصيل، ويجـب أن نسمح بمواطن الخلل بـدلا من ذلـك. ويجـري السعـي وراء إستراتيجيات الشفـاء الذاتي في الاتصـالات السلكية واللاسلكية وشبكات إمـدادات الطاقة، على سبيل المثـال. إذا كان هناك ارتبـاط في الشبكة باستمرار، ينبغي أن يكون النظام قـادرا على إيجاد طريق بديل لتجاوز المشكلة. وتعتبر أجسادنا مثالا جيدا في هـذا الصدد. ويمكن أن تلتئـم العظام المكسورة عندمـا يتم الاحتفاظ بالقطع في مكانها لفترة من الوقت، وعاء دموي حظر نادرا ما يثبت الوفاة

إذا كانـت العملية المتقدمة تدريجيـا، وغيرها من السفن يمكن أن تستغرق عادة أكثر من العرض المطلوب.

ليسـ دائما ممكنا لزيادة المرونة. نحن بحاجـة إلى تحسين فهمنا للكيفية التي يتـم تضمين التكنولوجيا في سياق أوسع. طريقة واحدة للقيام بذلك هـي جمع الكثير من البيانـات، التي هي الفلسفـة الكامنة وراء التجارب التـي يؤديها الكيميائيون. عندما يصبح الكيميـاء معقدا للغاية بالنسبة إلى نتائج التي يمكن التنبؤ بها، عندما تسعى للحصول على حافز جديد، على سبيل المثال لا يمكن أن يؤديها الآلاف من التجارب، مع وجود اختلافات عشوائية في أوضاعهـم. وتستخدم أجهزة الكمبيوتر على نحو مماثل أداء قـوي للتعرف على الأنماط بين عينات عشوائيـة، وكريغ فنتر ينطبق كثيرا على نفس النهج لشظايا الحمض النووي.

وغالباً مـا تتطلب التكنولوجيـا المعقدة والجمع بـين رؤى مختلفة. هذا ينطبق بالتأكيد على الاتصـالات، والطاقة، وشبكات النقل التي تناولناها في هـذا الكتاب. المصانـع الكيماوية المحلية تتطلـب بوضوح شبكة من الموردين والموزعين. إذا كنا نريد أن نأخذ المزيد من التكنولوجيا لدينا، نحن بحاجة إلى التركيز على مستويات مختلفة، من اللبنات الفردية على الأنظمة المعقـدة. وسوف تكون هنـاك حاجة متزايدة إلى الجمـع بين الخبرات في مختلف المجالات. لتحقيق اختراقات في مجال الرقائق الضوئية المرنة، كنت في حاجـة إلى معرفة وافية للإلكترونيـات والضوئيات، والمواد. لتحسين تصميـم شبكات الاتصـالات السلكية واللاسلكية، عليـك أن تجمع بين الـرؤى في الاتصالات الضوئية واللاسلكية. وسوف نقوم أيضا في حاجة

إلى مزيد من الفهم لفيزياء المواد وكذلك الرياضيات والكمبيوتر وتقنيات المحاكاة التي يمكن التعامل مع المشاكل المعقدة في جميع هذه المجالات.

تعقيد الصناعة

تطـور صناعة يعرض توازي التغيير التدريجي للنظم الإيكولوجية. وقد تطـورت سـواء في تعقيد أكبر مـن أي وقت مضى. لقد ولـت الأيام التي كان يمكـن فيها أن تنتج المصانع كل ما تحتاجونـه لأنفسها، كما في الأيام الأولى من التصنيع. ومن الممكن مقارنة تلك الأيام مع النظم الإيكولوجية علـى الأرض التي شكلت حديثا الأراضـي المستصلحة من البحر، وعلى سبيـل المثال، أنشئت مؤخرا الكثبـان الرملية، أو الجزيرة الناتجة من ثوران البراكين. الأنواع الأولى لتأسيس نفسها في مجالات مثل هذه هي التي تنتج كميـات هائلة من البذور. هؤلاء الرواد يحاولون البقاء على قيد الحياة في بيئـة قاسية من خلال الضرب بسرعة والانتشار في مواقع جديدة، وبالتالي ضمان استمرار وجود الأنواع في حال نفاد موطن معين. الجراد تتصرف بطريقـة مشابهة: سرب يـأكل بنهم، يستنسخ بسرعـة، ومن ثم ينتقل بعد انتهاء المواد الغذائية.

عندمـا تستعمر مناطق جديدة، الطبيعة تتطور بقوة. ولكن كما يواصل النظام الإيكولوجي التطور، تحاول أنواع أخرى من النبات إثبات وجودها. تنمـو العليق ببطء بين الشجـيرات ذات الجذور والفـروع العديدة، وهو مثـال جيد. يمكن للنباتات مثل هذه أن تملـك التأثيرات الموسمية للصمود والبقـاء على قيـد الحياة في فصل الشتاء أو في فـترات طويلة من الجفاف.

تبـدأ بعدها أنـواع أكثر في الظهـور والتي تعتمـد على بعضهـا البعض، فنفايـات أحد المنتجات علـى سبيل المثال تساهم في توفـير المواد الغذائية لفترة أخرى. وينمو في نهاية المطاف موئل أحيائي معقد، مثل ذلك الذي نجـده في خشب الزان أو البلوط في غابة الأمطـار الاستوائية. يمكن لهذه النظم الإيكولوجية امتصاص الصدمات بسهولة نظرا للأنواع التي تتكون منها ثروتها. إذا كان هناك فترة مؤقتة من البلل، فهب تستفيد من الأنواع التـي سوف تتكاثر، وذلك باستخدام السرعـة لتصل إلى الرطوبة الزائدة. ويتحقق بذلك التنظيم الذاتي والتعايش المستدام.

يمكنـك مقارنة هـذه الخلافة من النظـم الإيكولوجية مـع الطريقة التي نشأت فيها صناعاتنا المتقدمة. تعرض العديد من الصناعات سلوك الجراد، لا سيما في العقود الأولى من الثورة الصناعية. كما يكترث الجراد بخفة إلى المجالات التي ينتهمها، تمتص كذلك المصانع المواد الخام وتنبعث مخلفاتها دون أي تفكـير في استنفاد الموارد الطبيعية أو أي عبء كانت يفرض على البيئة. في الوقت الحاضـر، هناك العديد من الأماكن حيث لم يعد فيها هذا الاستغلال المجرد للكواكب.

في أثنـاء القـرن الماضـي، أرست الصناعـة جذورها، ونمـت الفروع، وبـدأت في نشـر تقنيـات أكثر استدامـة. استعيض عن المـوارد الطبيعية النـادرة بالمكونـات الكيميائية المصنعـة. وأصبحت العمليـات الصناعية أكثر دقـة وأكثر اقتصادا في استخدام المواد. وخـير مثال على هذا التطور هـو كربونات الصوديوم وهو عنصر هـام في صناعة الصابون. حتى نهاية القرن الثامن عشر، تم حرق الأعشـاب البحرية بواسطة الصودا، مما جعل

المنتـج نادرا وباهظ الثمن. اعتبرت الحكومة الفرنسية أن هذا يمثل مشكلة خطـيرة، وذلك في 1775، إذ أعلـن أنه سيتم منح الجائـزة لمن يتمكن من التوصل إلى بديل قابل للتطبيق.

وقـد طـوّر الكيميائـي الفرنسي نيكـولا لوبـلان عملية غـير عضوية باستخـدام حمض الكبريتيك والملـح والمواد الخام. أثبتـت العملية نجاحا فوريا، لأنها ولدت كميات كبيرة من الكلور والكبريت التي تم إنشاؤها في عملية مجموعة جديدة من المشاكل. في حوالي منتصف القرن التاسع عشر، صادف البلجيكي ارنست سولفاي عملية أفضل أثناء محاولة إزالة الأمونيا من غاز الفحم. الأسلوب يستخدم ملح سولفاي، والأمونيا، وثاني أكسيد الكربـون والماء والمواد الخام، ونتيجة لذلك لم يعد يعطى الكبريت. الكلور ما زال يمثل مشكلة، ولكن في الوقت الحاضر، يمكن استخراجه عن طريق التحليل الكهربائي وإعادة استخدامها.

شـرط أن يسـير كل شيء حسب الخطة، لم يعد يصـدر الكلور في البيئة. كمـا طورت صناعة كربونات الصوديوم نموا على مدار القرنين الماضيين، أصبحت العمليات حميدة أكثر ومعقدة أكثر من ذلك بكثير. لأن الصناعة تعشعش في كثير من الأماكن، وقد تطور هذا مـن الاستعمار النقي نحو علاقة تكافلية مع بيئتها. مثل الطبيعة، يمكن استخدام مواد صناعة النفايات كمدخل لمنتجات أخرى، مما يتيح لها أن تتفاعل أكثر اقتصاديا مع محيطها.

الإنتـاج لم تعـد مسألـة امتصاص المواد الخـام وبصق المنتجـات. وقد أصبحـت الصناعـة موئلا أحيائيا معقـدا تعتمد فيه المصانـع على بعضها البعض. المنتجات تأتي إلى حيز الوجود من خـلال (سلسلة الغذاء) لفترة

طويلة من الموردين، متصلة بواسطة خطوط النقل المعقدة[1]. هذا التعقيد يجعل من الصعب تحقيق تغييرات جوهرية، فإنه يستتبع تلقائيا سلسلة طويلة من التعديلات. وموئل الأحيائي الصناعي يعكس بدقة الطبيعة في هذا الصدد: إن الأنظمة الإيكولوجية يمكن أن تعيش تغييرات صغيرة. عندما ينقرض نوعاً معيناً، على سبيل المثال، فهو يقتصر عادة على أثر موئل الأحيائي. الطبيعة تتكيف مع غيرها من الأنواع، ومع ذلك، هناك بعض الأنواع التي تلعب دورا أكثر محورية في الحفاظ على التوازن العام. يمكن لإزالتها أن يعجل تجزئة النظام البيئي ويؤدي إلى التحول إلى واحدة مختلفة تماما. نظرا إلى هذه الشروط، حفظ الطبيعة هو أقل حول تأمين الوضع الراهن والحفاظ على المزيد من قدرته الديناميكية على التكيف مع التغيرات.

شبكات التوريد في الصناعة تشابه الشبكات الغذائية في النظام الإيكولوجي. كلاهما يعرضان العديد من الاتصالات المحلية القصيرة والطويلة المدى والقليلة الروابط، التي تضمن التوازن العام. نظرية الشبكة تدل على أن هذا النوع من النظم ينشأ عن السعي لتحقيق كفاءة أكبر من أي وقت مضى، مما أدى إلى إحكام الترابط تدريجيا. الارتباطات الطويلة المدى تعني أن هذه الشبكات هي فعالة جدا، وليس هناك طريقة أفضل لنقل البضائع والمواد والطاقة حول المجاري. وهذا يجلب منافع مالية،

(1) See Axtell، R. L. (2001). Zipf distribution of U.S. fi rm sizes. Science، 293 (5536)، 1818–1820; May، R. M. (1988). How many species are there on Earth? Science، 241(4872) 1441–1449.

وكذلك يضمن أن أنظمة من هذا النوع هي قوية جدا.

يمكـن للشبكـة الصناعية التكيف بسرعة مع التغـيرات المحلية تماما كما تتكيف مع طبيعة الأنـواع التي تختفي. لكن الجانب السلبي هو الجمود، كما هو موضح في الجزء الأول من هذا الكتاب. كفاءة الشبكات مقاومة للتغيـير: أساليب جديدة لتوليد الكهرباء في صراع لأنه على نطاق واسع، وذلـك يشـكل جزءا لا يتجـزأ من محطـات توليـد الطاقـة الموجودة في الشبكات الصناعية. وبالمثل، فإن شبكة من المستلزمات الزراعية ومصانع إنتـاج الغذاء تجعل من الصعب التحـول إلى محاصيل بديلة أو المنتجات في الاستجابـة لتقلبات المناخ. وبنى الهولنـدي اقتصاداً مدعوما من طواحين الهواء، التي كانت ناجحة بحيث غابت تقريبا خارجا على الثورة الصناعية بالطاقة بواسطة محرك البخار.

عنـد حدوث تغيير جوهـري في نهاية المطـاف، فإنه يـؤدي إلى إجراء إصـلاح شامل للنظام البيئي الصناعي. وقد لاحظ الاقتصاديون منذ وقت طويـل أن الصناعة قد ذهبـت من خلال سلسلة من الثـورات، التي يشار إليها أحيانا باسم (كوندراتييف) أو (موجات شومبيتر). رغم أنه في سياق العلوم التعقيد، نحن نفضل استخدام مصطلح (التحولات). وبدأت الثورة الصناعيـة مع المحرك البخاري جيمس وات (1775)، وقد حفزت الثورة بالسكك الحديدية بـين المدن خطوط السكك الحديديـة (1830). يتمثل عصـر الصناعة الثقيلة مـن جانب فرن المجمرة المكشوفـة لإنتاج الصلب (1871)، وقـد بشر النقـل الجماعي في الإنتاج الضخـم للفورد (1908)، وكانـت ثورات المعلومات قد انطلقت بواسطة الحاسوب والإلكترونيات

الدقيقة والإنترنت (في الخمسينيات والستينيات). التحولات في التنظيم الذاتي أنظمة ضرورية ومتكررة على حد سواء[1].

حتى ولو لم نكن مستعدين لإجراء تغييرات كبيرة في صناعتنا، نحن نعلم أنها كامنة قاب قوسين أو أدنى. قد نشهد تحولات سريعة في المناطق المناخية، على سبيل المثال، وتقلبات أسعار النفط، أو مشاكل المواد الخام. التكنولوجيا الجديدة يمكن أن تؤدي اضطرابات جديدة. ثنائي الجزيء العمليات، على سبيل المثال، لديها القدرة على إسقاط هياكل الإنتاج القائمة، على النحو الذي تجسد في توليف الحمض النووي لأول مرة في عام 2008. كما هو الحال مع الحفاظ على الطبيعة، حماية مستقبل صناعتنا ليست على وشك الحصول في الوقت الراهن، ولكن من الضروري تعزيز الديناميات اللازمة للتكيف مع التغييرات التي تنشأ. يجب أن تصبح الإستراتيجيات الصناعية أكثر مرونة.

هذا، كما لاحظنا، قد تم في كثير من الأحيان بسعر زيادات مؤقتة في عدم الكفاءة. ولكن ذلك على وشك التغيير. التصغير والإلكترونيات الشامل تجعل من الممكن التقليص دون التضحية بالكفاءة. الكثير من الأمثلة في هذا الكتاب توضح هذه النقطة، بما في ذلك من شبكات الكهرباء الذكية، ومصنع للمواد الكيميائية على رقاقة، ومناهج جديدة لوجستية وإنتاج الغذاء. وينبغي على صناعة احتضان هذا النهج ليصبح أكثر مرونة وأقل عرضة للصدمات.

---

(1) Devezas، T. C.، and Corredine، J. T. (2002). The nonlinear dynamics of techno–economic systems—An informational interpretation. Technological Forecasting and Social Change، 69، 317–358.

تعقيد المجتمع

التكنولوجيا هي في كثير من الأحيان مجرد جزء من الحل. وسوف تكون هناك أهمية كبرى للإرادة الاجتماعية والدوافع الشخصية تماماً كما هناك أهميـة للحرب. ومـن الواضـح أن ظواهر التعقيد تلعـب دورها في هذا المجال للمجتمع. الثورات والحركات الشعبية، والسياسيين الذين يعرفون تمامـا كيفية استغـلال لحظة معينـة. المجتمع ككل والخصائص لا يمكنها أن تتبع بدقة سلـوك الأفراد. التكنولوجيات الجديـدة قد تصبح ضجيجا مفاجئـا، ولكن ثغـرات الملاحظة في السوق في كثير مـن الأحيان ليست سوى وهم التسويق. أحيانا يمكن أن تترك ابتكارات فعالة على الرف لعدة سنوات. هناك الكثير من التكنولوجيا قادرة على إبطاء تغير المناخ، ولكنها ببساطة لا تستخدم.

لقـد حلم دائما الكتـاب الطوباويون باعتمـاد التكنولوجيات الجديدة بشـكل سلس لصالح المجتمـع. وتميزت يوتوبيا[1] توماسـ مور، وتقريبا لرؤيـة مماثلـة من جانـب السيطرة الكاملـة على كل جانـب من جوانب المجتمـع. يفرض الحـكام الأقويـاء إدخال تكنولوجيـات جديدة لصالح الجميـع. في كتاب الأتلانتس الجديـد[2] للكاتب فرانسيسـ بيكون، يتم استخـدام البحث العلمـي لقهر الطبيعة وتحسين أحـوال المجتمع، وخلق (السخاء والتنوير)، والكرامة والعظمة، وروح التقوى العامة.

---

(1) More، T. (1518). Libellus vere aureus، nec minus salutaris quam festivus، de optimo rei publicae statu deque nova insula Utopia. Basileae: apud lo. Frobenium.

(2) Bacon، F. (1626). The new Atlantis، http://vermeer.net/cax

ولكــن لا يمكن لهــذه التكنوقراطية بــأي حال من الأحــوال أن تكون مكانا لطيفــا؛ إيديولوجيتها من النقاء يتسامح مــع أي معارضة، ويتحول العلمــاء اليوتوبيون إلى الطبقات منفصلــة. وليس هناك أي تفاعل حقيقي اجتماعي، وهو عامل مشترك من قبل جميع[1]. معظم الناس قد يهمّون في الفــرار من هذه المجتمعات إذا استطاعوا. السيطرة المركزية وقمع للتفاعل هي بالتأكيد من طــرق التعامل مع تعقيدات المجتمع، لكن الطريق بالكاد يكــون المرغوب فيه، وسوف يثبت في نهايــة المطاف غير مستقر على أي حال. حتى الطغاة الأكثر وحشية من المؤكد أن يغفلوا شيئا عاجلا أو آجلا، وربمــا يتسبب الأمــر في سقوطهم. وقد أثبت التاريــخ أن هذا صحيح في الديكتاتوريات الفعلية مع أيديولوجية مستوحاة من الناحية التكنولوجية، مثل التي كانت موجودة في الاتحاد السوفياتي.

بالتأكيــد، نحــن لا نعتقــد أن مجتمعنا يتجــه إلى نقطة النهايــة الطوباوية المستقــرة. إدارة المجتمع معقدة من الناس وهي عملية مستمرة من التطور السريع الملاحظات والقرارات القائمة على الأدلة الهامة كما هو الحال في أي قضيــة أخرى التعقيد. هذا ينطبق على كل شكل من أشكال الحكومة. ومــن المدهش أن نرى مدى سرعة التفاعلات عــبر الإنترنت وكيف أدت إلى نمــاذج جديدة من الحكم ونوع جديد مــن (الدكتاتور الخير). الشاب الفنلندي لينوس تورفالدس، رئيس المطور للكمبيوتر لنظام التشغيل لينك، علــى سبيل المثــال، يحكم عدد وافر من المبرمجــين المتطوعين بعيداً عن أي

(1) Achterhuis، H. (1998). De erfenis van de utopie. Amsterdam: Ambo.

شكل من أشكال السلطة[1].

بدلا من تحديد الأهداف بعيدة المدى، إنه يكرس نفسه للمشاكل التي تنشأ، مسترشدة ردود الفعل المستمر واستعراض الأقران. مجتمع المبرمجين يناقش كل قضية بحماس، ولكن الدكتاتور الخيرين لم يأخذوا هذا الجانب بعين الاعتبار، حتى خرجت الحرارة من المناقشة. وهناك حاجة مستمرة لردود الفعل السريعة لجعل هذا العمل والفلسفة، وهذا هو السبب في كثير من الأحيان الذي يؤدي بتورفالدس لنشر الطبعات الجديدة من لينكس، بحيث يمكن ملاحظة تأثير أي قرار معين. ويمكن بعد ذلك ملاحظة آثار جانبية غير متوقعة يمكن التعامل معها في مرحلة مبكرة. هذه المبادئ تنظم المجتمع في مثل هذه الطريقة التي تقدم فقط أفضل المفاهيم الفوز. ليس هناك ميزانية التسويق أو آلة الدعاية لإخفاء القرارات التقنية الفقيرة أو المتوسطة.

في كثير من البلدان، هي الحكومة التي تسهل اتجاه البحوث التكنولوجية. يمكن للبحوث الأساسية أن تكون عملية جدا على المدى الطويل، حيث إن الحكومة في كثير من الأحيان هي المؤسسة الوحيدة القادرة على دعم مسيرة امتدت من المختبر إلى التنفيذ العملي. وكما رأينا، هي في كثير من الأحيان عملية تكرارية تحتاج إلى أن تنظم على مراحل، والذي لا بد من توفير رأس المال الذي يلزمه.

(1) Rivlin، G. (2003). Leader of the free world: How Linus Torvalds became benevolent dictator of Planet Linux، the biggest collaborative project in history. Wired Magazine، no. 11.

في نظام الولايات المتحدة، تتجه الحكومة لرعاية البحوث ذات مهمة واضحة. ويتم تمويل صفقـة كبيرة مع الأهداف العسكرية في الاعتبار، وإنما هي أيضا مهمة واضحـة تدعم بالتساوي. وهنـاك ضغوط كثيرة علـى البحـوث التي تقوم بهـا وكالة ناسـا، ومعاهد الصحـة، ووزارة الطاقـة، وبالتالي، نحـن في حاجة إلى العمل علـى التوصل إلى حلول. هنـاك أيضا خطر، بيـد أن الطابع الإيديولوجـي للرعاية وسوف يؤدي إلى تجاهـل بعض الحلـول والموضوعـات. في أوروبا، غالبـا ما تتخذ القرارات المتعلقة بالبحث العلمي في مستوى الدول الأعضاء، مما يؤدي إلى التجزئـة وتباطؤ عملية وضع نهج موحد. مـا هو أكثر من ذلك، لا تستند القـرارات بشأن البحوث التي ترعاهـا المفوضية الأوروبية كليا علـى الأدلة ولكن مطالبتـك أيضا من الرغبة في إعطـاء كل دولة عضو (تحويلا عادلا).

ومع ذلك، يتم التحرك في الاتجاه الصحيح. فمن مهمتنا كعلماء، تشجيع الحكومـات على اتخاذ قراراتهم علـى الحجج الأكثر عقلانية. هناك أيضا مسؤولية أخـرى وهي تحديد الآثار الجانبيـة للتكنولوجيا الجديدة، والتي غالبـا ما تكون سيفا ذا حديـن. اكتشاف الطاقة النوويـة كمصدر جديد للطاقـة، على سبيل المثال، قد تحول إلى كابوس بالنسبة لشعب ناغازاكي وهيروشيما. يمكـن لهذه الآثار الجانبية، بطبيعة الحـال، أن تكون إيجابية أيضا.

العواطـف والآراء التي عفا عليها الزمن هي عامل آخر نحن بحاجة إلى التعامل معه في المجتمع. ويجب إيجاد حلول جديدة للتنافس مع عقود من

الخبرة المشتركة، والتقنيات المتبعة الواسعة، والبنى التحتية المتقدمة عضويا، وتكاليف الإنتاج التي خفضت بشكل كبير عن طريق تدفق مستمر من التحسينات. كلما كان تأسيس التكنولوجيا أكثر حزماً، كلما كان من الصعب تهجير شيء جديد تماما. كيف تتنافس مع أكثر من خمسة عقود من تكنولوجيا السليكون للإلكترونيات أو أكثر من قرن من محركات البنزين؟ كيف يمكن إقناع الناس باعتماد التكنولوجيات الموفرة للطاقة؟ مجتمعنا هو النظام المعقد الذي لا يتحول بسهولة. من عواقب مثل هذه التغييرات هي في الغالب هائلة بحيث إن الأفراد سوف يرفضون قبولها حتى لا يكون لديهم حقا أي خيار آخر.

هذا النوع من القصور الذاتي يشكل عائقا أمام العديد من الحلول الجديدة. ليس من السهل ضمان اتخاذ القرارات المبنية على الأدلة داخل الحكومة، وعلم النفس وعلم الاجتماع، وكثيرا ما نحتاج أدلة موثوقة لهذا العرض. وينقسم العلماء الاجتماعيون في مدارس مختلفة. ولكن لتعيين هذا التغيير، نحتاج إلى مدرسة جديدة في علم الاجتماع الكمي الناشئة، كما هو موضح في الجزء الأخير من هذا الكتاب. يمكن أن تؤدي نتائجها إلى تحسين فهمنا للعملية الديمقراطية، بما في ذلك دور القادة ووسائل الإعلام. يمكن لأبحاثهم أن تكشف جذور العلاقات والمؤسسات وكيف يمكن تغييرها، وتعزيز فهمنا لسلوك القطيع. وقد يساعدنا نهج جديد في العلوم الاجتماعية أيضا على كشف أي خطر لانزلاق البلاد إلى الديمقراطية الدكتاتورية وتسليط الضوء على ديناميات تشكيل الرأي، وتمكننا من اتخاذ قرارات أكثر توازنا وعقلانية.

أعمق إلى التعقيد نظرة

نحـن الآن فقط بدأنـا في استيعاب تعقيدات التحديـات التي تواجهنا. فهمنـا للأنظمة المعقدة محدود لأننا نفتقر أيضا إلى معرفة أساسية في العديد من المجالات فيما يتعلق الأمر بتأثير المعايير الأساسية. نستمر في التحدث، على سبيل المثال، حول تأثير المناخ من الظواهر الشمسية، والآثار المحددة، ونحـن لا تزال نبحث عن العوامل الحاسمة التي تسمح بتطوير الأمراض. هـذا وقـد فشلنا في كشف حركـة معاكسـة في المعلمـات الرئيسية التي أطلقـت العنان للأزمة المالية العالمية عـام 2008. الرياضيات يمكن أن توفر لنا خوارزميـات جديدة قادرة على تسريع العمليـات الحسابية من خلال عـدة أوامر من حجمها. ويمكننـا أيضا أن نجعل العمليـة أسرع عن طريق زيـادة فهمنا للقوى الكامنـة وراءها. نحن نعتقد أن العلـم والتكنولوجيا لدينـا لا زال بعيـدا عن النضج. فمن الواضح أن هنـاك جوانب كثيرة من كوكبنـا وسكانه لا نفهمها تماما. هناك قدر كبـير أكثر مما ينبغي تحقيقه إذا أردنا أن ننجح في حماية الحياة على كوكبنا.

لفهـم أفضل، ينبغي علينا أن ننفق المال والوقت للنظر أبعد في المستقبل. وسيـؤدي الأمر إلى توليـد الارتباك والخوف، والذي هـو أسوأ ما يمكن. المشـاكل الملحة للدعـوة الإنسانية لنهج آخر تذكرنـا بقصة إدغار آلان بو (الانزلاق إلى دوامة). وتروي القصـة حكاية ثلاثة أشقاء كانوا في الصيد في الخارج عندما اشتعلت قاربهم في عاصفة رهيبة. وقد حولت العاصفة الهائجـة والتيارات الغاضبة البحر إلى كتلة مـن الدوران الوحشي، الذي يسحـب القـارب إلى وسط دوامة عملاقة، حيـث يسود صمت مرعب.

يتأثـر أحد الإخوة بعمق من جراء الأمـر. مقتنعاً أنّه سوف يموت، يستعيد رباطـة جأشه، ويلاحظ مع كل ما يحدث حوله من سحر. بعد مرور فترة زمنية، يلاحظ أنه يجري سحب الكائنات الاسطوانية والأصغر حجما إلى الأسفل بسرعة أقل. ثم يدرك أن الأشياء على شكل برميل تجد فعلا طريقها صعـودا للخروج من الدوامـة. لذلك، يرمي نفسـه إلى برميل مياه فارغ ويقـذف نفسه في البحر. بينما يغوص قارب الصيد المدمر أعمق وأعمق، يعمـل البرميل باطراد للخروج من الدوامة، ويحمل الناجي الوحيد إلى بر الأمان.

بطل الحكاية ينقذ نفسه من خلال فك الارتباط العاطفي من وضعه على الفور. نأيه بنفسه على هذا الشكل مكّنه من التغلب على خوفه من الموت ورمـي نفسه في واقع مستعرّ في كل مـكان حوله. الطريقة الواضحة التي نظر فيهـا إلى الواقع وواجهه هي سر بقائه. لم يكن سلوكه مدفوعاً من قبل محاولـة يائسـة لإيجاد طريقة للخروج من مأزقـه، ولكنه كان مدفوعا من قبل افتتانه بالدوامة. في البداية، يبدو كما لو أنه يقوم بتضييع الوقت، أكثر مـن وجود فضوله العلمي. لكن تفكـيره لا يذهب مباشرة من المشكلة إلى الحل، وإنمـا يبدأ من خلال اتخاذ التفاف نحو المعرفـة الصافية. من المفيد إلقـاء نظرة موضوعيـة إلى الواقع، تماما مثل ذلـك الصياد الذي خرج من الدوامة على قيد الحياة.

سجلت أسعار المحروقات والمواد الغذائية ارتفاعاً كبيراً ثم هبطت أرضاً، حصلت هزة أرضية مدمّرة في هاييتي، فشلت المصارف، وظهر فيروس إنفلونزا جديد، ما لبث أن تفشى وباء عالمي سبب الذعر وأعلنت حالة طوارئ. لم تكن أي من هذه الأحداث متوقعة قبل سنة، أو على الأقل، لم يكن مسموعاً بها. ولم نتمكن من خلال مهاراتنا التكنولوجية أن نأخذ الاحتياطات اللازمة لمواجهتها مسبقاً. إن العام 2030 سيتخذ الموقف الذي يمليه. علينا تجاه مسيرة التاريخ، ويمنحنا طريقة جديدة في التطلع إلى الأمام، من منظور يتناول الاستدامة والاستقرار ومواجهة الأزمات بتدابير احترازية.

وخلاصة القول إن هذا الكتاب، يتوجه إلى كل الذين يهتمون بالعلم الحديث، ليطرح أمامهم التقنيات المتطورة التي من شأنها أن تحدث تغييراً في العالم.



53


ISBN 978-603-8086-43-8